# COLECCION ATLAS

**C Ciencias**

ATLAS DE ANATOMIA HUMANA
ATLAS DE ANATOMIA ANIMAL
ATLAS DE MINERALOGIA
ATLAS DE ASTRONOMIA
ATLAS DE BOTANICA
ATLAS DE LAS RAZAS HUMANAS
ATLAS DE GEOLOGIA
ATLAS DE BIOLOGIA
ATLAS DE QUIMICA
ATLAS DE FISICA
ATLAS DE METEOROLOGIA
ATLAS DE FISICA NUCLEAR
ATLAS DE ZOOLOGIA (INVERTEBRADOS)

**A Ciencias Aplicadas**

ATLAS ELEMENTAL DE CIRUGIA
ATLAS DE LA ENFERMERA

**L Letras**

UNIVERSAL

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | ... | E/5 |
| | | | ...ita ... ... ... | E/9 |
| | | | ...raedrita ... ... ... | B/5 |
| | | | ...itanita ... ... ... ... | E/11 |
| | | | Topacio ... ... ... ... | E/10 |
| | | | Torbernita ... ... ... | F/1 |
| | | | Torianita ... ... ... | F/1 |
| | | E/2 | Tremolita ... ... ... | E/7 |
| | | D/1 | Turmalina ... ... ... | E/8 |
| | | E/3 | Turquesa ... ... ... | D/7 |
| | | E/4 | Uraninita ... ... ... | F/1 |
| | | E/4 | Vermiculita ... ... | E/6 |
| | | C/6 | Vesubiana ... ... ... | E/8 |
| | | C/3 | Vivianita ... ... ... | D/7 |
| | | D/3 | Wiluita ... ... ... ... | E/8 |
| | | B/8 | Witerita ... ... ... ... | D/3 |
| | ...ta ... ... ... | E/9 | Wolframita ... ... ... | D/6 |
| | Me...erita ... ... ... | D/5 | Wulfenita ... ... ... | D/6 |
| | Me...rbernita . ... | F/1 | Wurtzita ... ... ... ... | B/4 |
| ...2 | Mi...clina ... ... ... | E/3 | Yeso ... ... ... ... ... | D/5 |
| D/6 | Mil...rita ... ... ... | B/5 | Zafiro oriental ... | C/4 |

EDICION

ECBEDEBACDAD C

M. FONT ALTABA

ATLAS DE MINERALOGIA

EDICIONES JOVER, S. A.


# M. FONT-ALTABA

CATEDRATICO DE CRISTALOGRAFIA Y MINERALOGIA DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA

# ATLAS de MINERALOGIA

## ¿QUÉ ES UN MINERAL?

Se denominan minerales los seres naturales de composición química definida y de estructura cristalina determinada, que a veces se presentan en formas geométricas más o menos regulares.

Todo mineral debe reunir tres cualidades: *unidad material, origen natural* y pertenecer a la parte sólida de la corteza terrestre.

La materia de que constan los minerales está formada por la ordenación sistemática de las partículas elementales que la constituyen, átomos, iones o moléculas, dando origen a un medio periódicamente homogéneo, denominado *materia cristalina*, que, si tiene forma poliédrica, forma un *cristal*.

Cuando se rompe una masa de calcita, los fragmentos resultantes tienen forma poliédrica, romboedros en este caso; de los cristales pseudohexagonales de mica se pueden separar láminas muy finas, que conservan la forma del cristal; los diamantes se tallan aprovechando determinadas superficies de fácil exfoliación.

Esto es debido a la *estructura interna de la materia cristalina*.

## ESTRUCTURA INTERNA DE LA MATERIA CRISTALINA

Es del dominio general que el cloruro sódico está integrado por los iones de los elementos cloro y sodio, pero lo que ya no es tan conocido es que dichos iones que en disolución circulan libremente por la masa líquida, en el momento de la cristalización se unen ocupando posiciones determinadas de modo que cada ion sodio esté rodeado por seis cloriones, e inversamente que cada sodión esté a su vez rodeado por seis iones cloro.

Admitiendo que cada ion es una esfera de tamaño determinado, el cual depende del número de electrones orbitales, cargada positiva o negativamente, los iones de sodio y cloro que integran el cristal de cloruro sódico serán una serie de esferas que permanecerán unidas entre sí por la fuerza de atracción entre cargas de distinto signo y, por lo tanto, cada una de estas esferas tendrá, rodeándola y tangentes a ella, el máximo número posible de otras cargadas con signo contrario.

Esta disposición, que depende únicamente del tamaño relativo de ambos iones, determina que cada ion adopte una posición particular. Tomemos un cubo de arista igual a 5,628 unidades arbitrarias y, en cada vértice y centro de las caras, coloquemos esferas de radio igual a 0,98; si en mitad de cada arista situamos esferas de radio igual a 1,81, tendremos el esquema que, repitiéndose indefinidamente, constituye el cristal del cloruro sódico. A esta unidad cuya repetición da la materia cristalina se le denomina *celda fundamental*.

La figura 1 representa el cubo descrito en el párrafo anterior; las esferas de color verde son los cloriones, mientras que las de color pardo son los sodiones. La figura 2 es exactamente el mismo esquema, pero en ella sólo están representados los centros de los iones; las líneas que los unen, de trazo más fuerte, marcan el límite de la celda fundamental. En la figura 3 se han dibujado una serie de celdas fundamentales, dentro de un cristal de cloruro sódico.

Las dimensiones de esta unidad elemental, del orden de unos pocos armstrongs (1 Å = $10^{-8}$ cm.), no permiten distinguirlas ni con el microscopio petrográfico, ni aun con el electrónico, siendo únicamente los rayos X los que nos informan sobre su existencia, ya que, al ser su longitud de onda de la misma magnitud que las dimensiones de la celda fundamental, sufren el fenómeno de la difracción. Este fenómeno fue descubierto por von Laue en 1912, y Sir William Bragg, en 1913, dedujo una sencilla fórmula que abrió un inmenso campo a la investigación de los cristales.

Existen otros tipos de estructura cristalina, distintos del descrito para el cloruro sódico. Si consideramos el cristal de cuarzo, en él los átomos de silicio y oxígeno se disponen de modo que cada silicio está situado en el centro de un tetraedro cuyos vértices ocupan cuatro oxígenos. Cada tetraedro se une con sus vecinos por los vértices, formando una armazón tridimensional que origina el cristal de cuarzo. El esquema del mismo se puede observar en la figura 4.

Las estructuras que poseen estos grupos discretos, tales como los carbonatos, sulfatos, etc., se diferencian de las típicamente iónicas en que el tamaño relativo de sus átomos no influye de manera preponderante, siendo más importantes las direcciones en que se unen los átomos entre sí.

Como ejemplo mineralógico típico de estructuras cristalinas con grupos definidos en su interior, citaremos el cristal de mica, esquemáticamente dibujado en la figura 5.

Colores convencionales adoptados internacionalmente para la representación de los iones: H, color crema; $H_2O$, anaranjado; O, rojo; S, amarillo; N, azul ultramar; P, púrpura; *Halógenos*, verde; OH, azul celeste; y *Metales*, pardo o gris.



# Estructura interna de la materia cristalina

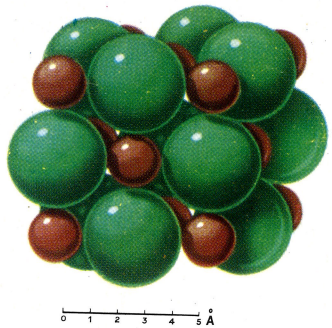



Fig. 1- Disposición iónica

Estructura cristalina de la sal gema

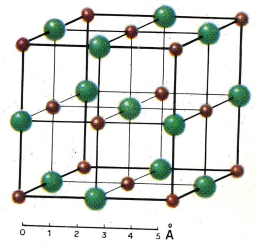



Fig. 2- Celda fundamental

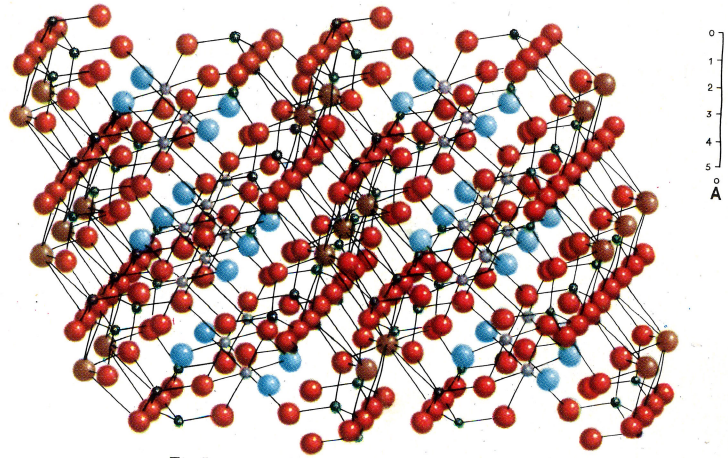



Fig. 5- Estructura cristalina de la muscovita

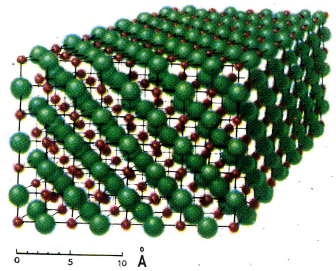



Fig. 3- Constitución interna de un cristal de sal gema

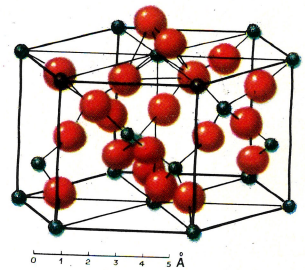



Fig. 4- Estructura cristalina del cuarzo

## SIMETRÍA CRISTALINA

La ordenación sistemática que adoptan las partículas que forman la materia cristalina hace que aparezcan en ella *elementos geométricos de simetría*, tales como ejes, planos y centro de simetría.

En la celda fundamental del cloruro sódico (fig. 1) se observa que, al efectuar giros de 90º alrededor de las rectas que unen los centros de las caras, AA', todos los elementos materiales van a posiciones ocupadas por elementos similares antes del giro, manteniéndose la disposición relativa de todos ellos. Exactamente ocurre al girar 120º alrededor de BB', o 180 alrededor de CC'. Esto determina la existencia de *eje cuaternario* según AA', *ternario* según BB' o *binario* según CC'.

Por otra parte, el plano ACACA'C'A'C'A (fig. 2) divide a la celda en dos partes iguales, que son como el objeto y su imagen; en esta posición existe un *plano de simetría*.

Finalmente, alrededor de B y B' existe la misma disposición material, lo cual motiva la aparición de un *centro de simetría*.

En los cristales aparecen estos elementos de simetría regulando la disposición de sus *elementos reales* (caras, aristas y vértices), de manera que el estudio de estos últimos nos indica la simetría que posee el cristal.

Los elementos de simetría que, solos o combinados entre sí, pueden aparecer en los cristales, son siete: 5 ejes de simetría de orden binario, ternario, cuaternario y senario, plano de simetría y centro de simetría.

## SISTEMAS CRISTALINOS

La asociación de los elementos de simetría cristalográfica entre sí da origen a las *32 clases cristalinas*.

Reuniéndolas en grupos de manera que en cada uno haya aquellas que poseen ejes de simetría del mismo orden, se forman *6 sistemas cristalinos*, cuya característica simétrica es el eje común.

## CONSTANTES CRISTALOGRAFICAS

La simetría interna de la materia cristalina se traduce en la relación constante que guardan entre sí los elementos reales del cristal, quedando determinada la posición de una cara cualquiera por los ángulos que forman con otras que se toman como planos de referencia.

Si en el cristal de cloruro sódico consideramos el punto O como origen de coordenadas (fig. 3), las rectas OA, OB y OC serán los tres ejes de un sistema coordenado y formarán entre sí tres ángulos: $\alpha$, $\beta$ y $\gamma$, que son las *constantes angulares* del cristal. A estos ejes se les denomina *ejes cristalográficos*. El plano ABC, paralelo a una cara de octaedro, corta los tres ejes anteriores a distancias fijas, a, b, c, que en este caso son iguales; la relación existente entre estos tres parámetros, a:b:c, se denomina *relación paramétrica*, y con los ángulos anteriores constituyen las *constantes cristalográficas* del cristal.

Variando la relación de estas constantes entre sí, se deducen 7 formas fundamentales, que corresponden a las *siete singonías cristalinas*, en las que pueden también agruparse las 32 clases cristalinas. En la figura 4 pueden observarse las constantes cristalográficas y el poliedro fundamental para cada singonía, así como la relación de éstas con los sistemas.

## FORMAS CRISTALINAS

El cristal está formado por un conjunto de caras, aristas y vértices, que se disponen según la simetría que posee la materia cristalina que lo integra. De acuerdo con esta simetría, una cara, que denominaremos *cara generadora*, engendrará un número determinado de caras, todas equivalentes a ella y cuyo conjunto es una *forma cristalina sencilla*. Así, el cubo de cloruro sódico será una forma sencilla. Si varias de estas formas se combinan en un mismo cristal, se engendrará una *forma compuesta;* por ejemplo, un cubo de galena con caras de octaedro en los vértices. En la Naturaleza, los cristales se presentan como formas compuestas, excepto en raras ocasiones.

Cuando una forma sencilla limita una porción de espacio, caso del cubo, se dice que es *forma cerrada*, mientras que si no cierra un espacio determinado, caso de los prismas, se la denomina *forma abierta*.

*Atlas de* MINERALOGIA
POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS
CRISTALOGRAFIA
Serie A Num. 2

# Simetría cristalina

### Elementos de simetría de la sal gema

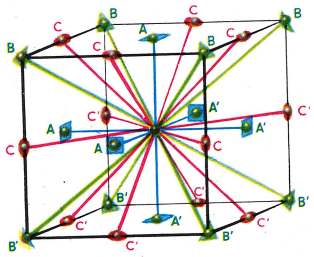


Fig. 1 - Ejes de simetría

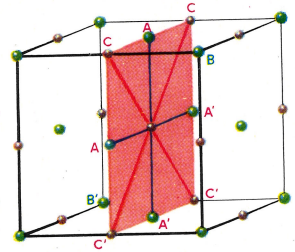


Fig. 2 - Plano de simetría

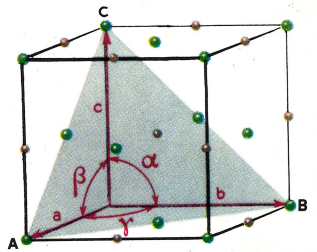
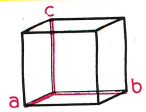
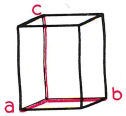
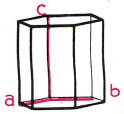
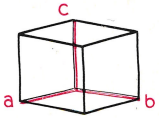
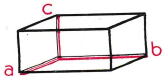
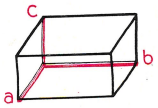
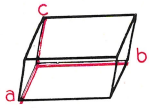


Fig. 3 - Constantes cristalográficas del cristal

| Singonía | Constantes cristalográficas | Poliedro fundamental | Sistema | Característica simétrica |
|---|---|---|---|---|
| Regular | $\alpha=\beta=\gamma=90°$ <br> $a=b=c$ |  | Regular | 3 ejes cuaternarios <br> 4 ejes ternarios |
| Tetragonal | $\alpha=\beta=\gamma=90°$ <br> $a=b\neq c$ |  | Tetragonal | 1 eje cuaternario |
| Hexagonal | $\alpha=\beta=90°, \gamma=120°$ <br> $a=b\neq c$ |  | Hexagonal | 1 eje senario |
| Romboédrica | $\alpha=\beta=\gamma\neq 90°$ <br> $a=b=c$ |  | Romboédrico | 1 eje ternario |
| Rómbica | $\alpha=\beta=\gamma=90°$ <br> $a\neq b\neq c$ |  | Digonal | 1 eje binario |
| Monoclínica | $\alpha=\gamma=90°\neq\beta$ <br> $a\neq b\neq c$ |  | | |
| Triclínica | $[\alpha\neq\beta\neq\gamma]\neq 90°$ <br> $a\neq b\neq c$ |  | Triclínico | No tiene eje |

## SISTEMA REGULAR

También denominado cúbico, está formado por cinco clases cristalinas, cuya característica simétrica es poseer cuatro ejes ternarios equidistantes entre sí, que dan origen a tres ejes binarios normales entre sí y equidistantes de los ternarios y que pasan a cuaternarios en las dos clases de mayor simetría del sistema.

El poliedro fundamental es el *cubo* (fig. 1), forma sencilla y cerrada, como todas las de este sistema, integrada por seis caras equivalentes y normales a los ejes cuaternarios; sus aristas son los ejes cristalográficos del sistema, formando tres ángulos rectos, o sea $\alpha = \beta = \gamma = 90^{o}$.

La forma que determina la relación paramétrica es el *octaedro*, cuyas caras, normales a los ejes ternarios, forman ángulos iguales con las del cubo, siendo sus parámetros iguales, y la relación paramétrica $a:b:c = 1:1:1 = 1$.

La clase de mayor simetría es la holoedria regular, que posee: tres ejes cuaternarios, normales entre sí y equivalentes; cuatro ejes ternarios equidistantes de los anteriores; seis ejes binarios, que son bisectriz de los ángulos que forman los cuaternarios; tres planos de simetría normales a los ejes cuaternarios; seis planos de simetría normales a los ejes binarios, y centro de simetría (figs. 2, 3 y 4).

Este conjunto de elementos de simetría produce la forma sencilla de mayor número de caras, el *hexaoctaedro* o *hexaquisoctaedro*, con 48 caras triangulares iguales.

Además de las indicadas, las formas holoédricas de este sistema son el *rombododecaedro*, con doce caras romboidales normales a los ejes binarios, y el *trapezoedro*, con 24 caras trapecios isósceles, que se encuentran con gran frecuencia en los granates; el *tetrahexaedro* o *cubo piramidado*, con 24 caras triángulos isósceles, y el *trioctaedro* u *octaedro piramidado*.

Las cuatro restantes clases del sistema poseen menor grado de simetría, existiendo tres hemiedrias, la enantiomórfica, la hemimórfica y la paramórfica, y la tetartoedria, que sólo posee los elementos de simetría de la característica simétrica.

Entre las formas hemiédricas más frecuentes, hay las paramórficas, el *dodecaedro pentagonal* o *piritoedro*, formado por doce caras pentágonos irregulares, que, como su nombre indica, se presenta con gran frecuencia en los cristales de Pirita; el *icositetraedro trapezoidal* o *diploedro*, con 24 caras trapezoidales, que se encuentra en los cristales de Leucita. Entre las hemimórficas, tenemos el *tetraedro* con cuatro caras triángulos equiláteros, todas ellas normales a los ejes ternarios, y el *tritetraedro* o *tetraedro piramidado*, con doce caras triángulos isósceles, que, combinados con el cubo, se presentan en la Blenda, principalmente en las variedades de Blenda acaramelada.

La única forma tetartoédrica nueva es el *dodecaedro pentagonal tetartoédrico*, del que muy raramente se encuentran cristales naturales.

SISTEMA REGULAR:

HOLOEDRIA. — Cubo, Octaedro, Rombododecaedro, Tetrahexaedro, Trapezoedro, Trioctaedro, Hexaoctaedro.

HEMIEDRIAS
- *Enantiomórfica.* — Icositetraedro pentagonal.
- *Hemimórfica.* — Tetraedro, Tritetraedro, Dodecaedro trapezoidal, Hexatetraedro.
- *Paramórfica.* — Dodecaedro pentagonal, Icositetraedro trapezoidal.

TETARTOEDRIA. — Dodecaedro pentagonal tetartoédrico.


# Atlas de MINERALOGIA
POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS

CRISTALOGRAFIA

Serie A Num. 3


## Sistema regular

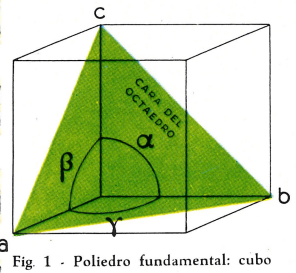



Fig. 1 - Poliedro fundamental: cubo

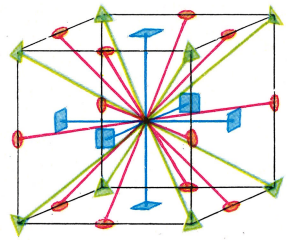


Fig. 2 - Ejes de simetría principales y secundarios

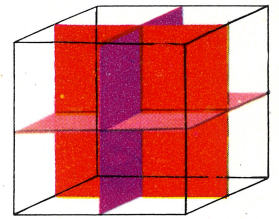
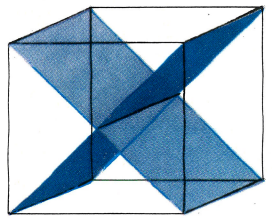
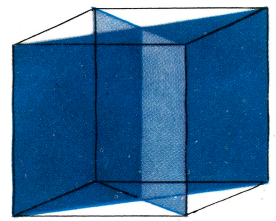


Fig. 3 - Planos de simetría principales





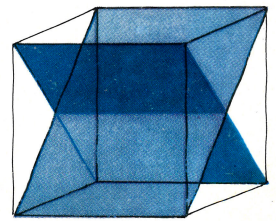


Fig. 4 - Planos de simetría secundarios

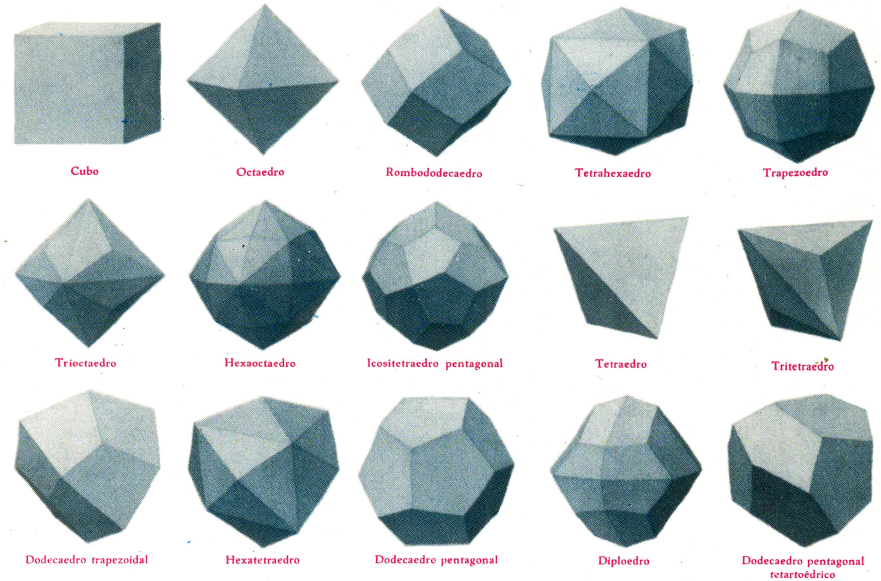



Fig. 5 - Formas cristalinas sencillas del sistema

## SISTEMA TETRAGONAL

Está formado por siete clases cristalinas, cuya característica simétrica es poseer un eje cuaternario, que en dos de ellas presenta condiciones especiales, por lo cual se le denomina de 2.ª especie.

El poliedro fundamental es el *prisma tetragonal*, cerrado en sus extremos por caras de *pinacoide básico*, siendo forma compuesta integrada por cuatro caras equivalentes y paralelas al eje cuaternario, y dos caras, la superior y la inferior, normales a dicho eje. Los ejes cristalográficos del sistema son las aristas de esta forma compuesta, formando entre sí tres ángulos rectos: $\alpha = \beta = \gamma = 90^{o}$.

La forma que determina la relación paramétrica es la *bipirámide tetragonal*, con ocho caras que forman ángulos iguales con las del prisma anterior, pero distintos del que forman con el pinacoide. Los parámetros con que estas caras cortan a los ejes horizontales son iguales y distintos del parámetro sobre el eje vertical: $a = b \neq c$.

La clase de mayor simetría es la holoedria tetragonal, con 1 eje cuaternario vertical, 4 ejes binarios normales al cuaternario y formando ángulos de 45º; 1 plano de simetría normal al eje cuaternario, 4 planos de simetría que se cortan según este eje, forman entre sí ángulos de 45º y son perpendiculares a los ejes binarios y centro de simetría.

Además de las tres formas ya citadas aparecen, en la holoedria, el *prisma ditetragonal*, con ocho caras verticales, que forman ángulos iguales dos a dos, y la *bipirámide ditetragonal*, con dieciséis caras, ocho superiores y ocho inferiores, que convergen en dos vértices, culminantes, superior e inferior respectivamente. En esta clase cristalizan la Casiterita y el Rutilo, con formas compuestas de prismas y bipirámides.

Las formas hemiédricas más importantes son: el *trapezoedro tetragonal*, integrado por ocho caras trapezoides, que se cortan según aristas en zigzag; las *pirámides tetragonales* y *ditetragonal*, verdaderas hemiformas holoédricas; y los *esfenoedros* y *escalenoedro tetragonales*, de forma semejante a la del tetraedro, siendo sus caras triángulos isósceles en lugar de equiláteros. Los cristales de Calcopirita presentan la combinación de estas últimas formas.

## SISTEMA HEXAGONAL

Al igual que el sistema tetragonal, está formado por siete clases cristalinas, cuya característica simétrica es poseer un eje senario; en dos de ellas, presenta condiciones especiales que lo hacen equivalente a un eje ternario y un plano, motivo por el cual algunos autores las agrupan con las cinco clases romboédricas, para formar un sistema de siete clases que denominan trigonal.

El poliedro fundamental es el *prisma hexagonal*, cerrado en sus extremos por el *pinacoide básico*, siendo forma compuesta integrada por seis caras equivalentes y paralelas al eje senario, y dos caras, la superior y la inferior, normales a dicho eje. Los ejes cristalográficos del sistema son tres aristas de este poliedro, formando entre sí los ángulos siguientes: $\alpha = \beta = 90^{o}$, $\gamma = 120^{o}$.

La forma que determina la relación paramétrica es la *bipirámide hexagonal*, provista de doce caras que forman ángulos iguales con las caras del prisma, pero distintos del que forman con el pinacoide. Los parámetros con que estas caras cortan a los ejes horizontales son iguales, y distintos del parámetro sobre el eje vertical: $a = b \neq c$.

La clase de mayor simetría, holoedria hexagonal, posee 1 eje senario vertical; 6 ejes binarios horizontales formando ángulos de 30º; 1 plano de simetría normal al eje senario; 6 planos contenidos en este eje y normales a los binarios, y centro de simetría.

La semejanza entre este sistema y el tetragonal va hasta la denominación de las formas sencillas; así, además de las tres formas citadas, aparecen, en la holoedra, el *prisma dihexagonal* y la *bipirámide dihexagonal* de características idénticas a las tetragonales, salvando el número de caras, que será mayor. Cristaliza en esta clase, mineral tan importante como es el Berilo.

Las formas hemiédricas son el *trapezoedro hexagonal*, y los *prismas* y *bipirámides trigonales*, que aparecen en las dos últimas clases del sistema y son de naturaleza totalmente diferente de la de aquellos que hemos visto en el sistema tetragonal. Estas últimas formas, las hallaremos en el sistema romboédrico, dando ocasión a que éste haya sido considerado como una hemiedria del sistema hexagonal.


# Atlas de MINERALOGIA

POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS

CRISTALOGRAFIA

Serie A Num. 4


## Sistema tetragonal

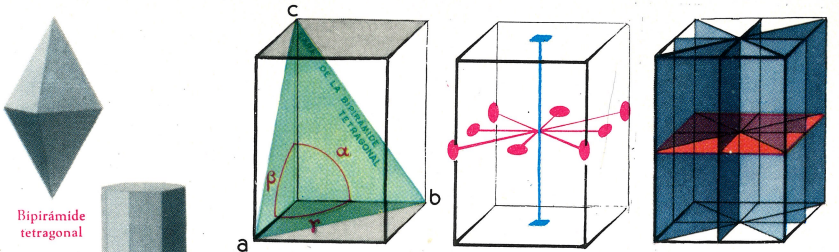



Fig. 1 - Poliedro fundamental: prisma tetragonal y pinacoide básico

Fig. 2 - Ejes de simetría principales y secundarios

Fig. 3 - Planos de simetría principales y secundarios

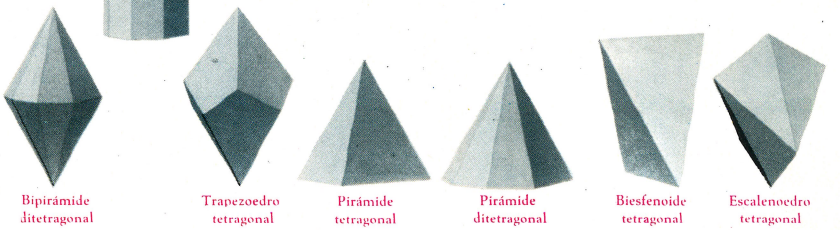



Fig. 4 - Formas cristalinas del sistema

## Sistema hexagonal




Fig. 5 - Poliedro fundamental: prisma hexagonal y pinacoide básico

Fig. 6 - Ejes de simetría principales y secundarios

Fig. 7 - Planos de simetría principales y secundarios

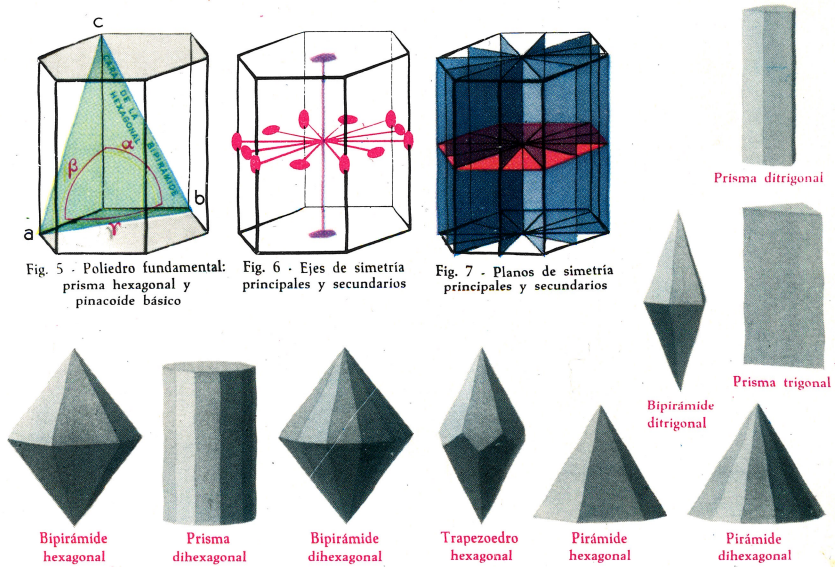



Fig. 8 - Formas cristalinas del sistema

## SISTEMA ROMBOÉDRICO

Incluido por una serie de autores dentro del sistema hexagonal, se independiza de éste por aparecer en todas sus clases el *romboedro*, forma fundamental del sstema, que puede considerarse derivado del cubo con sólo deformar a este último homogéneamente; está integrado por seis caras, rombos, y doce aristas, seis de ellas culminantes tres a tres en los vértices superior e inferior.

Los ejes cristalográficos racionales de este sistema son las tres aristas culminantes del romboedro, que forman ángulos iguales entre sí y distintos de 90°: $\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$. La cara fundamental es el pinacoide básico que trunca este vértice y corta a los tres ejes según parámetros iguales entre sí: a = b = c. No obstante, debido a que aparecen en este sistema formas hexagonales, y con el fin de no orientar la misma forma cristalina de manera distinta, se adoptan, para el estudio morfológico, los ejes del sistema hexagonal.

Las cinco clases cristalinas del sistema carecen de plano principal de simetría, poseyendo la holoedria un eje ternario vertical; tres ejes binarios, normales al ternario y formando ángulos de 60° entre sí; tres planos de simetría verticales y normales a los ejes binarios, y centro de simetría.

Las formas sencillas más importantes, además del romboedro ya citado, son el *escalenoedro ditrigonal*, formado por doce caras triángulos escalenos, seis superiores y seis inferiores, con las aristas medias en zigzag; los *trapezoedros trigonales*, con seis caras trapezoidales, tres superiores y tres inferiores, enantiomorfos entre sí y cuyas caras determinan la naturaleza dextrógira o levógira del cristal de Cuarzo; las *pirámides trigonales* también denominadas *hemirromboedros;* y los *prismas* y *bipirámides hexagonales*, exactamente iguales que los vistos en el sistema hexagonal.

Minerales tan importantes como Calcita, Cuarzo, Cinabrio, Oligisto, Corindón, etc., cristalizan en este sistema, siendo típicos los escalenoedros ditrigonales de Calcita y los Cuarzos formados por prisma hexagonal, romboedros positivo y negativo, caras pequeñas de bipirámide trigonal y las características caritas del trapezoedro trigonal.

## SISTEMA DIGONAL

Está formado por las singonías rómbica y monoclínica, caracterizándose sus clases cristalinas por tener un eje binario principal.

a) SINGONIA ROMBICA. — El poliedro fundamental es un paralelepípedo rectangular, forma compuesta por los tres *pinacoides básicos*. Las aristas del poliedro fundamental son los ejes cristalográficos de la singonía, formando tres ángulos rectos: $\alpha = \beta = \gamma = 90°$. La *bipirámide* rómbica, formada por ocho caras triángulos escalenos, cuatro superiores y cuatro inferiores, determina la relación paramétrica, cortando a los tres ejes según parámetros desiguales: a ≠ b ≠ c.

La holoedria rómbica posee tres ejes binarios normales entre sí y no equivalentes; tres planos de simetría, perpendiculares a los ejes binarios, y centro de simetría. Las formas de esta singonía, además de las ya citadas, son *prismas rómbicos, pirámide rómbica* y *esfenoedro rómbico*.

El Aragonito, la Baritina, etc., cristalizan en esta singonía, con formas generalmente de hábito tabular, dando magníficos agregados.

b) SINGONIA MONOCLÍNICA. — El poliedro fundamental es un paralelepípedo inclinado, forma compuesta por los tres *pinacoides monoclínicos*. Las aristas del poliedro son los ejes cristalográficos de la singonía, formando dos ángulos rectos y un tercer ángulo de valor distinto: $\alpha = \gamma = 90° \neq \beta$. El *prisma monoclínico de 4.ª* especie, formado por cuatro caras que cortan a los ejes cristalográficos a distancias desiguales, determina la relación paramétrica: a ≠ b ≠ c.

La holoedria monoclínica posee: un eje binario, un plano de simetría, normal a él, y centro de simetría.

Las formas más importantes de esta singonía son los *prismas monoclínicos*, con las distintas posiciones que pueden adoptar; los *domos monoclínicos* y los *esfenoides*.

La holoedria monoclínica es una de las clases cristalinas en que cristalizan mayor número de compuestos.

## SISTEMA TRICLÍNICO

La característica de las clases de este sistema es su falta de simetría. El poliedro fundamental es un paralelepípedo inclinado sobre sus tres lados, forma compuesta por los tres *pinacoides triclínicos*. Los ejes cristalográficos son las aristas del poliedro, no poseyendo ningún ángulo igual, ni entre sí ni a 90°: $(\alpha \neq \beta \neq \gamma) \neq 90°$. La cara fundamental corta a los tres ejes a distancias desiguales, siendo la relación paramétrica: a = b = c.

*(Continúa en la TARJETA A6.)*

*Atlas de* MINERALOGIA
POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS
CRISTALOGRAFIA
Serie A Num. 5

# Sistema romboédrico

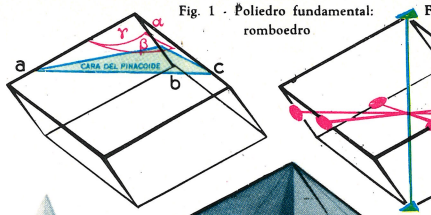



Fig. 1 - Poliedro fundamental: romboedro

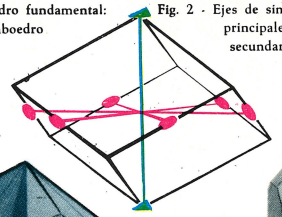
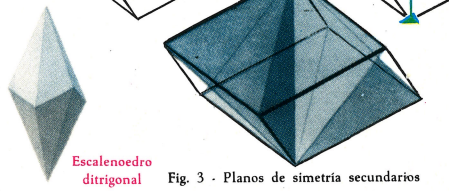


Fig. 2 - Ejes de simetría principales y secundarios



Escalenoedro ditrigonal

Fig. 3 - Planos de simetría secundarios

Trapezoedro trigonal

Cuarzo levógiro

Cuarzo dextrógiro

Fig. 4 - Formas cristalinas del sistema

# Sistema digonal

## Singonía rómbica

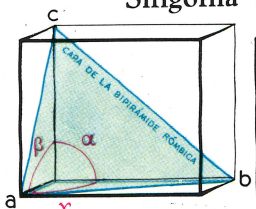



Fig. 5 - Poliedro fundamental: 3 pinacoides rómbicos

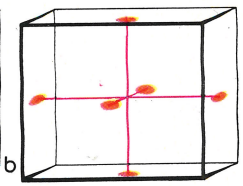


Fig. 6 - Ejes de simetría

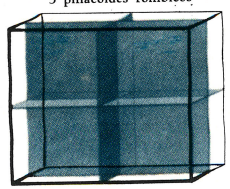


Fig. 7 - Planos de simetría

## Singonía monoclínica

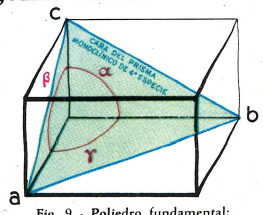



Fig. 9 - Poliedro fundamental: paralelepípedo inclinado

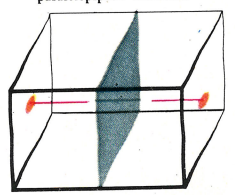
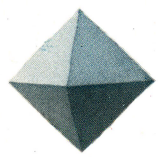
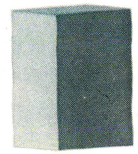


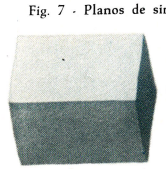
Fig. 10 - Eje y plano de simetría



Bipirámide rómbica



Prisma rómbico de 3.ª especie



Prisma rómbico de 2.ª especie

Prisma rómbico de 1.ª especie

2 prismas monoclínicos de 4.ª especie

Pirámide rómbica

Biesfenoide rómbico

Fig. 8 - Formas cristalinas sencillas del sistema

## Sistema triclínico

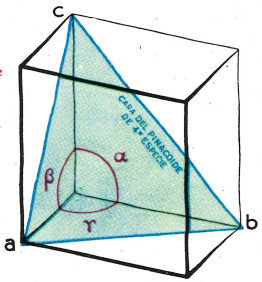



Fig. 11 - Poliedro fundamental: paralelepípedo inclinado sobre sus tres lados

## AGREGADOS CRISTALINOS

En el momento de la cristalización, los cristales tienden a unirse, formando asociaciones que se denominan *agregados cristalinos*. Éstos pueden estar integrados por una sola especie mineral, *agregados homogéneos*, o por varias especies, *agregados heterogéneos*. De estos últimos, tenemos buenos ejemplos en las rocas, verdaderas asociaciones de varias especies minerales, como el granito, agregado granudo heterogéneo de Cuarzo, Feldespato y Mica; individualmente, la cristalización de Circón sobre Monacita es un caso típico de agregado heterogéneo regular.

En los agregados homogéneos, al asociarse dos o varios cristales de una misma especie mineral, pueden efectuarlo de forma fortuita o bien de manera que sus elementos mantengan una relación fija que obedece a determinadas leyes. En el primer caso, se producen los *agregados irregulares*, como consecuencia de las condiciones ambientales durante el crecimiento cristalino, siendo buenos ejemplos, las formaciones estalactíticas, las geodas, los crecimientos arborescentes del hielo, etc.

En el segundo caso, el motivo de la asociación reside en el crecimiento interno del cristal, formándose los *agregados regulares*, entre los cuales debemos distinguir los *agregados holoáxicos*, *uniáxicos* y *biáxicos* o *maclas*.

Si las caras y aristas análogas de los distintos cristales que forman el agregado se mantienen paralelas entre sí, con el máximo grado de regularidad en la orientación de los distintos elementos, se ha formado un *agregado holoáxico* o *crecimiento en paralelo;* el Cuarzo en cetro, la Calcita en cabeza de clavo y el crecimiento en paralelo de los octaedros del Alumbre potásico son de esto ejemplos claros.

Varios cristales pueden asociarse de modo que todos ellos posean un elemento real, ya sea arista o cara, común o paralelo, dando un *agregado uniáxico*. Es el caso de los cristales tabulares de Baritina, que, uniéndose por una arista común, presentan el aspecto de libro abierto.

Los agregados regulares más importantes son los biáxicos. Cuando dos o más cristales se unen de modo que dos de sus elementos coincidan o sean paralelos, siendo la simetría del conjunto superior a la de cada individuo, se ha formado una *macla*.

Supongamos que un cristal de yeso se refleja sobre un plano paralelo a las caras del 1.er pinacoide; uniendo el cristal y su imagen, se nos formará la macla en lanza del yeso, pasando el plano de reflexión a ser plano de simetría del conjunto. A este nuevo plano de simetría se le denomina *plano de macla*. Si a uno de los dos individuos de esta macla le imprimimos un giro de 180º alrededor de la recta normal al plano de macla, se formará el cristal de yeso. A esta recta se le denomina *eje de macla*, y puede ser arista del cristal, como ocurre en la macla de las Espinelas. Las caras de 2.º pinacoide de los dos cristales maclados forman un plano común sin solución de continuidad; a las caras que presentan esta propiedad se les llama *plano de unión*.

Las maclas pueden ser *bigeminadas*, cuando están formadas por dos individuos, o *poligeminadas*, si contienen varios cristales. Entre las primeras, distinguiremos las *maclas por yuxtaposición*, en las que el plano de macla separa a los dos cristales (maclas de la Casiterita, del Yeso en lanza y de las Espinelas), y las *maclas de compenetración*, cuando los dos individuos crecen a ambos lados del plano de macla, siendo imposible deslindarlos en dos mitades rigurosamente simétricas (macla de Karlsbad de la Ortosa y macla en Cruz de Hierro de la Pirita).

Las poligeminadas pueden ser *maclas múltiples*, cuando varios cristales se maclan uno detrás de otro del mismo modo, dando conjuntos cerrados, como la corona del Rutilo, o bien abiertos, como la macla en zigzag del Aragonito. Si una serie de cristales se maclan compenetrándose de modo que su conjunto parezca tener una simetría que en realidad no posee, falsa simetría o pseudosimetría, forman las *maclas miméticas*, cuyo ejemplo más clásico son las «torrecicas» del Aragonito. Finalmente, las *maclas polisintéticas* son la yuxtaposición de una serie de finas laminillas, dando un conjunto en el que no se distinguen los individuos que lo forman; las Plagioclasas dan una macla de este tipo, en la que las laminillas sólo son observables por medio del microscopio petrográfico.

---

*(Continuación de la TARJETA A5.)*

Las formas sencillas de esta singonía son únicamente *pinacoides* y *pediones*, formados respectivamente por pares de caras paralelas o por una sola cara.

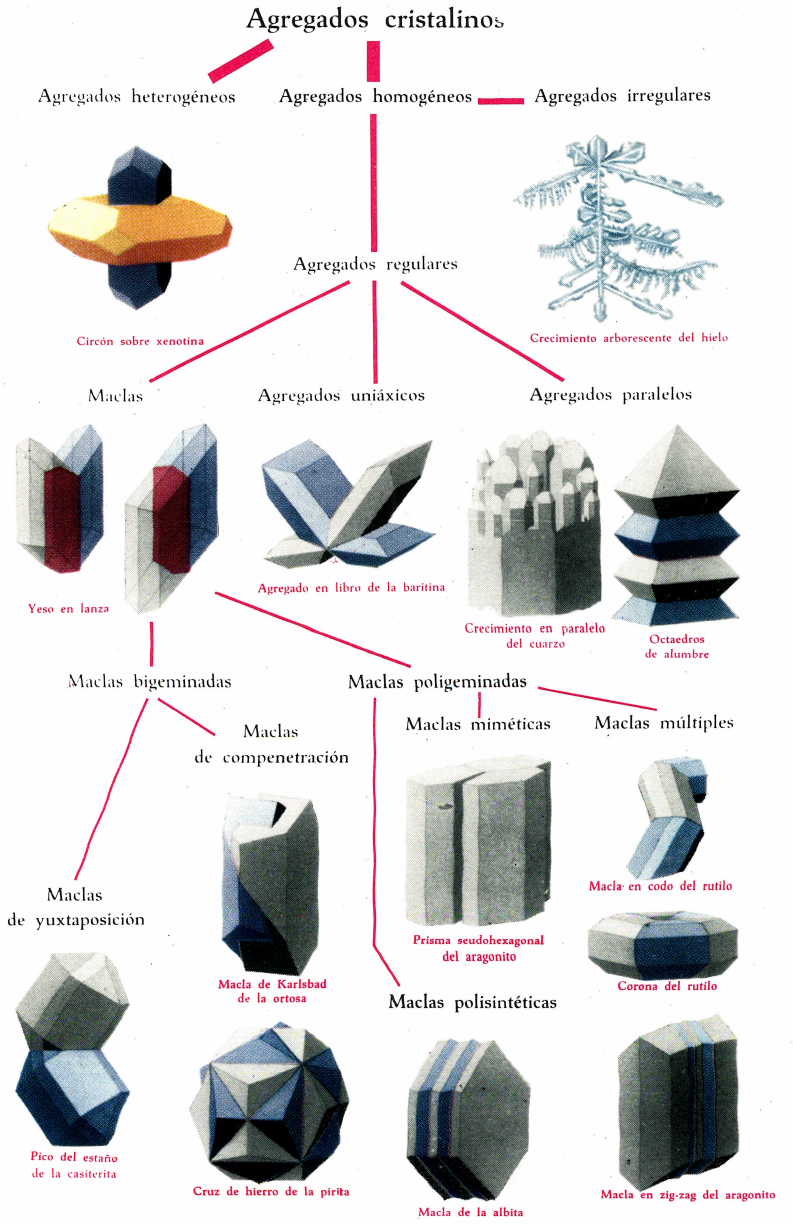
Las plagioclasas cristalizan en este sistema.

# *Atlas de* MINERALOGIA

POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS

## CRISTALOGRAFIA

Serie A Num. 6



## PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS CRISTALES

Si un rayo de luz atraviesa un cristal de Sal gema, el efecto que se observa es el mismo que cuando pasa a través de una masa de agua: si la incidencia es recta, no sufre desviación, y si es inclinada, se desvía de acuerdo con su índice de refracción, que tiene el mismo valor en todas las direcciones del espacio. El fenómeno se denomina *refracción sencilla*, y la Sal gema es *ópticamente isótropa*. Todos los cristales de este tipo cristalizan en el sistema regular.

Si el mismo rayo atraviesa un romboedro de Calcita, tanto si la incidencia es recta como inclinada, se divide en dos rayos, de los que uno se comporta como si el cristal fuese isótropo, mientras que el otro se desvía según leyes propias. A este fenómeno se le llama *doble refracción*, y decimos que la Calcita es *ópticamente anisótropa;* el primer rayo es el *ordinario* y el segundo, el *extraordinario* (fig. 1).

La velocidad de propagación del rayo ordinario es constante en todas las direcciones del cristal, siendo su superficie de propagación una esfera, mientras que la del extraordinario varía dentro de ciertos límites, al variar la dirección de la trayectoria, propagándose según un elipsoide (fig. 2). La luz de ambos rayos está polarizada en dos planos perpendiculares entre sí, de manera que si los interceptamos cuando salen del romboedro de Espato de Islandia, mediante una lámina cristalina que sólo deje pasar la luz que vibra en una dirección, un cristal de Turmalina tallado paralelamente al eje ternario, existen dos posiciones de la lámina en que sólo se observa uno de los dos rayos (fig. 3). No obstante, hay en el romboedro una dirección paralela al eje ternario, en que la luz pasa a través del cristal sin que se produzca el fenómeno de la doble refracción; esta dirección de monorrefringencia se denomina *eje óptico*. Los cristales anisótropos poseen, para cada lámina, dos índices de refracción, correspondientes a los dos rayos; si trazamos, según las direcciones de vibración de ambos rayos, segmentos rectilíneos proporcionales a sus índices de refracción, el lugar común de todos ellos será un elipsoide, obedeciendo la variación de los índices de refracción a la *ley del elipsoide*. A este elipsoide se le denomina *indicatriz óptica* (fig. 4).

La Calcita posee una dirección de monorrefringencia, el eje óptico, que coincide con el eje de mayor simetría de la clase en que cristaliza (fig. 5). Los cristales que, como la Calcita, poseen un sólo eje óptico se denominan *uniáxicos;* su indicatriz es un elipsoide de revolución cuyo eje de revolución coincide con el eje óptico, y la sección normal a él es un círculo. Todos ellos cristalizan en los sistemas tetragonal, hexagonal y romboédrico.

Existe otra clase de cristales que tiene dos ejes ópticos, como el Aragonito, denominándose *biáxicos;* su indicatriz es un elipsoide escaleno o de 3 ejes desiguales, con dos secciones cíclicas cuyos radios normales coinciden con los ejes ópticos (fig. 6). Este elipsoide tiene, como máxima simetría, tres ejes binarios normales entre sí, debiendo pertenecer los cristales biáxicos a las sigonías rómbica, monoclínica y triclínica (fig. 1). En estos cristales, el ángulo que forman los ejes ópticos es una constante óptica del cristal.

Cuando los cristales anisótropos se observan con luz polarizada convergente, se forman las denominadas figuras de interferencia, que permiten observar la posición de los ejes ópticos y diferenciar los cristales uniáxicos de los biáxicos. En la figura 8 se ha reproducido la figura de interferencia de un cristal uniáxico correspondiente al eje óptico.

## SIGNO ÓPTICO

Es necesario diferenciar el signo óptico de los cristales uniáxicos, del de los biáxicos.

En los primeros, el cristal es positivo o negativo según que el índice de refracción del rayo extraordinario, $\varepsilon$, sea mayor o menor que el del rayo ordinario, $\omega$. El Cuarzo es ópticamente positivo, ya que $\varepsilon > \omega$, mientras que la Calcita es ópticamente negativa, porque $\omega - \varepsilon$. El signo que tiene la diferencia $\varepsilon - \omega$ es el signo óptico del cristal.

En los biáxicos, el concepto de signo óptico va ligado al valor del ángulo de los ejes ópticos. Cuando es menor de 90º, el cristal es positivo, mientras que si es mayor de 90º, el cristal es negativo.

## Optica mineral

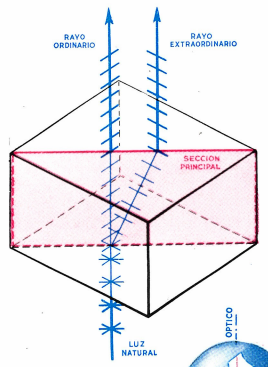



Fig. 1 - Esquema de un romboedro de calcita

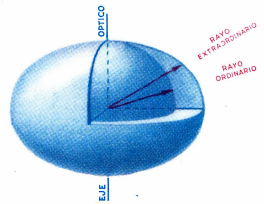



Fig. 2 - Superficie de velocidad de los rayos ordinario y extraordinario

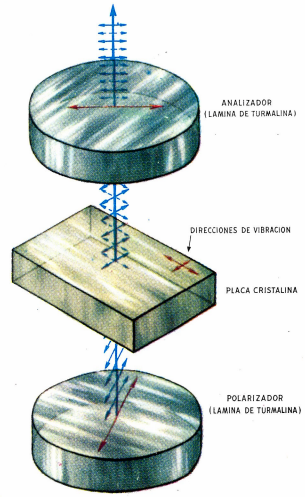



Fig. 3 - Esquema de la doble refracción en una lámina mineral

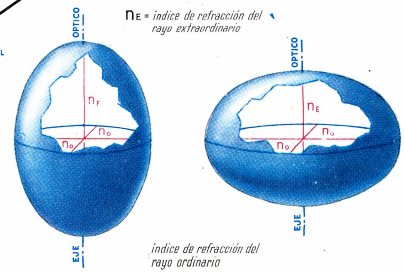



Fig. 4 - Indicatriz óptica de los cristales uniáxicos positivos y negativos

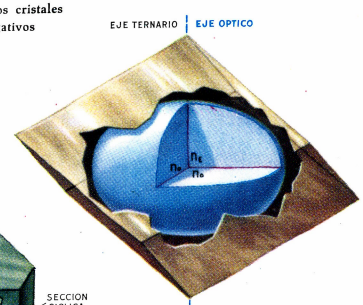



Fig. 5 - Indicatriz óptica de un romboedro de calcita

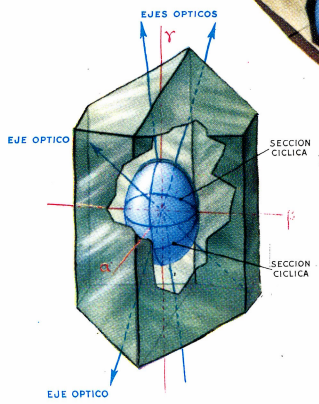



Fig. 7 - Indicatriz óptica de un cristal monoclínico

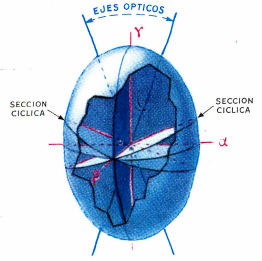



Fig. 6 - Indicatriz óptica de los cristales biáxicos

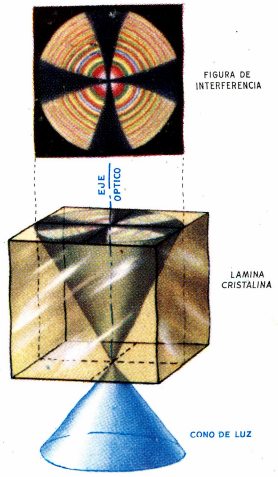



Fig. 8 Figura de interferencia en un cristal uniáxico

## MICROSCOPIO POLARIZANTE

El estudio de las propiedades ópticas de los cristales, en secciones delgadas de minerales y de rocas, se efectúa mediante un tipo especial de microscopio denominado *microscopio petrográfico* o *de polarización*. Consta de todas las partes del microscopio ordinario, y además tiene un sistema de polarización formado por el *polarizador*, que transforma la luz natural en polarizada y el *analizador*, el cual analiza la luz que sale de la lámina cristalina. El primero se sitúa antes del condensador, y el segundo, en el tubo del microscopio, entre el objetivo y el ocular. El condensador, en este tipo de microscopios, es móvil, pudiendo intercalarse a voluntad; los objetivos son de construcción especial, libres de tensiones, no siendo aconsejable emplear los objetivos corrientes; los oculares suelen llevar un retículo, formado por dos hilos muy finos que se cortan en ángulo recto. El polarizador y el analizador, que consta de un prisma de Nicol formado por un romboedro de exfoliación de Espato de Islandia, tallado de modo que el rayo ordinario sufra la reflexión total y sólo se observe el extraordinario, están montados de manera que puedan girar sobre sí mismos el ángulo que se desee, y además son intercalables a voluntad en el sistema óptico. Los microscopios modernos llevan láminas de «polaroide» en lugar de los prismas de Nicol, obteniéndose mayor luminosidad y además sin limitación en su tamaño.

Existe una lente que se intercala a voluntad, denominada *lente de Bertrand*, que permite la observación de las figuras de interferencia. En este caso, debe estar en el sistema óptico el condensador, llegando a la lámina cristalina un haz de rayos convergentes; este dispositivo se denomina *conoscópico*. Cuando el haz de rayos que llega a la placa cristalina es aproximadamente paralelo, y no hay condensador ni lente de Bertrand, el dispositivo se llama *ortoscópico*.

La platina de estos microscopios debe ser giratoria, graduada en los bordes en grados, con dos nonios que permiten apreciar medios grados en los modelos de enseñanza y décimas de grado en los de investigación. El enfoque se verifica por un movimiento rápido, que eleva o desciende el tubo del microscopio, y otro lento (para el enfoque fino de la imagen), que actúa sobre la platina.

Los grandes modelos modernos poseen un sistema de prismas que les permite construir el tubo del microscopio inclinado, pudiéndose adaptar un binocular para evitar el cansancio derivado del desigual esfuerzo de los dos ojos.

La figura 1 es la fotografía del microscopio de investigación Zeiss, modelo Standard GFL 666; esta casa constructora tiene el modelo Standard Junior KFT para estudiantes y los Ultraphot II Pol y Standard WL Pol, de alta investigación. Las figuras 2 y 3 son el corte transversal del microscopio, con la trayectoria de los rayos en el caso de montaje ortoscópico y conoscópico.

Con ambos montajes, se efectúan las siguientes observaciones:

CON DISPOSITIVO ORTOSCÓPICO

A) *Sin polarizador, ni analizador.*
- Medida de los ángulos planos entre líneas existentes en la lámina cristalina (línea de exfoliación, etc.).
- Determinación del espesor de la placa cristalina.
- Determinación de índices de refracción de cristales microscópicos

B) *Con polarizador.*
- Observación del pleocroísmo.

C) *Con polarizador y analizador.*
- Determinación de las direcciones de extinción (direcciones en que vibran los dos rayos polarizados).
- Determinación de la birrefringencia y del color de polarización.
- Determinación del signo de la extinción.

CON DISPOSITIVO CONOSCÓPICO
- Observación de las figuras de interferencia.
- Determinación del signo óptico.
- Medida del ángulo de los ejes ópticos en los cristales biáxicos.

## POLARIZACIÓN ROTATORIA

Cuando un rayo de luz polarizada atraviesa un cristal en la dirección del eje óptico, continúa vibrando según el mismo plano, sin sufrir variación alguna. Existen cristales, como el Cuarzo, que en las condiciones anteriores poseen la propiedad de hacer girar el plano de vibración de la luz. El ángulo girado depende del espesor del cristal, aunque es constante para una misma especie mineral bajo espesores iguales. A esta propiedad se le denomina *polarización rotatoria*. Los cristales que la poseen cristalizan en las hemiedrias enantiomórficas, y es consecuencia de la distribución atómica de estos compuestos (fig. 4).



### Microscopio polarizante
**Zeiss, Standard GFL 666**

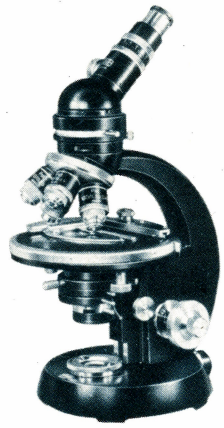


Fig. 1 - Microscopio

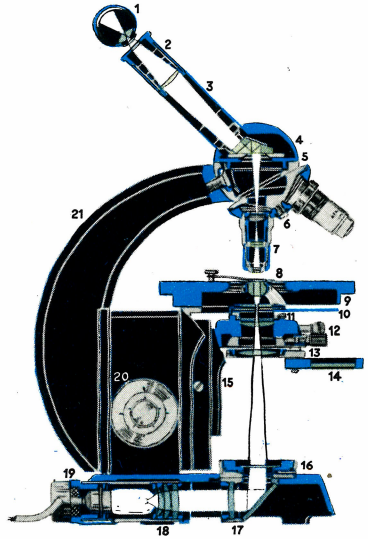



Fig. 2 - Corte del microscopio con el recorrido de los rayos

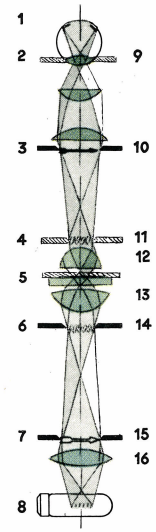
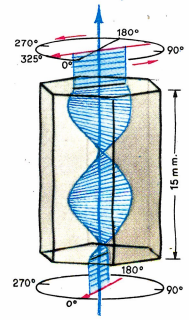



Fig. 3 - Esquema del recorrido de los rayos (método de iluminación de Köhler).

**Polarización rotatoria del cuarzo**




Esquema de la rotación del plano de polarización

## Clase I. ELEMENTOS

Comprende los elementos químicos que se hallan libres en la Naturaleza y que a la temperatura ambiente son sólidos o líquidos, al igual que sus mezclas homogéneas. Para su estudio mineralógico los dividiremos en *Metales* y *No Metales*.

### METALES.

Los elementos metálicos naturales cristalizan casi todos en el sistema cúbico, caracterizándose por ser maleables, tener peso específico elevado y brillo metálico. Todos ellos tienen enlace metálico, formado por los centros de los átomos que están unidos entre sí por una especie de nube electrónica, en la que los electrones pueden viajar libremente.

Si pudiéramos observar un cristal de cobre en sus más internos detalles, veríamos que, al cristalizar, sus átomos se disponen del mismo modo que lo harían una serie de bolas de igual tamaño que quisieran ocupar el menor espacio posible. Esta disposición se logra en una sola capa de esferas cuando sus centros forman triángulos equiláteros de modo que cada una quede rodeada por otras seis, tal como indican las bolas 1 de la fig. 1. Colocando una segunda capa, cada esfera tocará a tres de la capa inferior, estando sus centros en las posiciones 2 (fig. 1). Si se sitúa una tercera capa, las esferas pueden estar superpuestas ortogonalmente a las de la primera capa, de modo que sus centros se proyecten en las posiciones 1, produciendo una distribución denominada *empaquetado hexagonal compacto;* su simetría es hexagonal y posee un eje senario normal a las capas de esferas (fig. 1).

Si las esferas de esta última capa no se superponen ortogonalmente con las de las dos anteriores, o sea que sus centros se sitúan en las posiciones de la figura 2, se produce un *empaquetado cúbico compacto;* su simetría es cúbica, y, normalmente a las capas de esferas, existen los ejes ternarios. La distribución es la misma que se lograría si en un cubo situáramos esferas en los vértices y en mitad de las caras, denominándose, por esta razón, también, *red cúbica compacta de caras centradas*. Existe otra disposición estructural que presentan algunos metales; es el *empaquetado cúbico centrado* o *red cúbica centrada en el interior* (fig. 3). Las esferas se sitúan en los vértices y en el centro de un cubo, ocupando más espacio que en los empaquetados compactos.

### Grupo del Cobre.

Son los metales naturales más representativos, comprendiendo el Cobre y los metales nobles Plata y Oro.

Cristalizan en la holoedria regular, en forma de octaedros, cubos y rombododecaedros. Se maclan del mismo modo que las Espinelas y tienen gran tendencia a formar crecimientos paralelos de tipo dendrítico. Son blandos, y por ello sus cristales pierden rápidamente las aristas, pasando a formas redondeadas; tenaces y pesados, con brillo intenso; buenos conductores del calor y de la electricidad. No se hallan puros, sino conteniendo pequeñas cantidades de los otros dos, en forma de disoluciones sólidas.

ORO. De color amarillo típico, con raya del mismo color, en láminas muy finas tiene tonalidades azul-verdosas por transparencia. Se presenta en yacimientos de dos tipos: el *oro en minas*, contenido en filones unidos a rocas de tipo granítico, acompañando al Cuarzo, y el *oro de placer*, concentración de partículas auríferas, transportadas por las aguas y acumuladas en lugares donde la corriente disminuye su fuerza. Entre los primeros citaremos el riquísimo de Witwatersrand en la región africana del Transvaal, y entre los segundos, los de California y Alaska, en la América Septentrional, que produjeron las «fiebres del oro» de los años 1849 y 1896 respectivamente. Hasta el año 1890, fueron los Estados Unidos de América del Norte el mayor país productor de oro, pero en esta época Africa del Sur rebasó su producción, debido al descubrimiento de las minas del «Rand», y se ha mantenido en posición predominante hasta la fecha.

PLATA. De color blanco típico, con raya del mismo color, en láminas muy finas, es azul por transparencia. Se presenta con alteración superficial de óxido, dando una pátina de color gris-negro. La Plata nativa tiene poca importancia como mena del metal, presentándose en yacimientos del mismo tipo que los auríferos; son famosos los yacimientos de Potosí, en Bolivia.

COBRE. De color rojo típico, con raya del mismo color, se presenta siempre alterado, con pátina de color verde o azul, debida a los carbonatos básicos de cobre que se forman. En láminas muy delgadas es verde por transparencia. No tiene importancia como mena del Cobre. Citaremos los yacimientos del Lago Superior, situado entre los Estados Unidos de la América del Norte y Canadá, más que por su importancia económica por los hermosos cristales que en ellos se encuentran.



# Metales

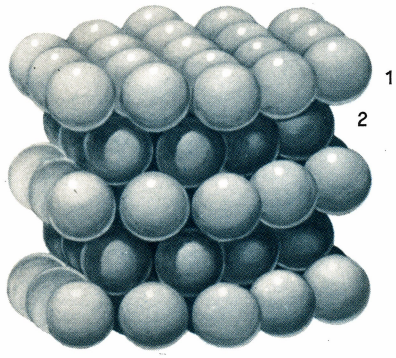



Fig. 1 - Empaquetamiento hexagonal

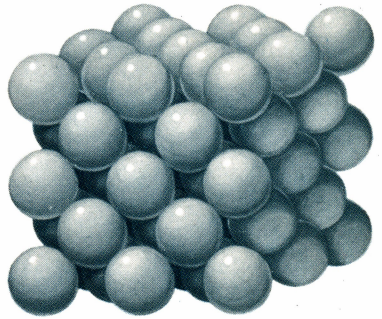


Fig. 2 - Empaquetamiento cúbico

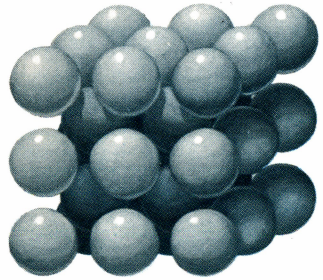


Fig. 3 - Empaquetamiento cúbico con centrado interior

Fig. 4 - Oro nativo - Eldorado (California) - U. S. A.

Fig. 5 - Plata nativa - Lago Superior (Michigan) - U. S. A.

Fig. 6 - Cobre nativo - Lago Superior (Michigan) - U. S. A.

**NO METALES.**

Los elementos reunidos en este apartado poseen propiedades que van desde las manifiestamente metálicas, caso del bismuto, hasta las específicamente no metálicas, caso del azufre y diamante, según que el enlace entre sus átomos sea metálico o covalente. La mayor parte de ellos son polimorfos, hallándose en la Naturaleza la modificación más estable en las condiciones ambientales.

AZUFRE. El azufre nativo es la forma polimorfa $\alpha$, estable a la temperatura ambiente, y en la que se transforman lentamente las $\beta$ y $\gamma$, que se hallan en estado natural en algunas localidades.

El $\alpha$-azufre cristaliza en hermosos cristales de la holoedria rómbica, de forma bipiramidal o esfenoidal, color amarillo limón, transparentes o translúcidos y brillo adamantino. Raya blanca.

Su estructura, formada por empaquetamiento en la celda fundamental de 16 anillos de 8 átomos de azufre, es típicamente molecular. Los átomos de los anillos están unidos fuertemente entre sí, dando verdaderas moléculas, que, a su vez, se juntan con enlace más débil. Esta estructura corresponde a las propiedades del azufre al calentarlo: a 119° C. funde en líquido limpio y fluido, que se vuelve viscoso a 200°, cambiando su color al rojo; en la primera fusión se conservan los anillos $S_8$ circulando libremente por la masa fluida, mientras que a 200° se rompen, dando cadenas que son causantes de la viscosidad del medio.

Ópticamente, los cristales de azufre son pleocroicos, biáxico-positivos, con birrefringencia muy fuerte (directamente apreciables en algunos casos); mal conductores del calor y la electricidad, se electrizan negativamente por fricción.

Los yacimientos de azufre se presentan: 1) alrededor de los volcanes (Japón, México, Chile); 2) en casquetes sobre los domos de sal (Costa del Golfo, Tejas, Luisiana), y 3) en forma de capas sedimentarias (Rusia, isla italiana de Sicilia, España).

El azufre nativo, relativamente inerte, arde a 247° C, transformándose en $SO_2$, que se utiliza para la obtención de ácido sulfúrico, ya sea por el método de contacto, ya sea en las cámaras de plomo. Tiene propiedades anticriptogámicas y edafológicas como corrector de suelos alcalinos, y se utiliza en Farmacia como medicamento externo. A su vez, el ácido sulfúrico es materia prima en la obtención de superfosfatos, importantes abonos.

La producción mundial de azufre bruto es de unos 4 millones de toneladas, de las cuales corresponden a Estados Unidos de la América del Norte el 92 por 100. Italia, Japón, Chile España, México, Francia e Indonesia producen el resto. Rusia tiene una producción elevada, aunque desconocida.

GRAFITO. Mineral constituido por carbono puro, es su variedad polimorfa más estable. Los átomos se disponen en capas formadas por hexágonos casi coplanares, de modo que cada C está rodeado por otros tres a 1'42 Å, distancia interatómica igual a la que separa a los átomos de carbono del benceno; esto hace suponer la existencia de dobles enlaces entre ellos. Estas capas, que se hallan a 3'40 Å unas de otras, se unen entre sí por enlaces débiles del tipo de van der Waals, siendo la causa de la fácil exfoliación que presenta este mineral paralelamente a ellas, así como de su poca dureza y su hábito tabular.

Los cristales en forma de tablas hexagonales son raros, hallándoseles en masas prismáticas bastante hojosas. Tiene color gris de acero, con brillo metálico y raya gris puro. Es transparente en láminas muy delgadas, con tonalidades azul profundo; fuertemente pleocroico y uniáxico negativo. Flexible, pero no elástico, tiene tacto suave y tizna los dedos. Es buen conductor de la electricidad y ampliamente transparente a las radiaciones infrarrojas. Infusible al soplete (funde a 3000° C) e inatacable por los ácidos; calentado al rojo con ácido nítrico fumante sobre lámina de platino, se hincha (grafitito) y, agregando $ClO_3K$, se descompone dando el ácido grafítico.

Aunque los yacimientos de grafito se presentan en rocas eruptivas y sedimentarias, son característicos de las rocas metamórficas. Los procesos de metasomatismo de contacto y metamorfismo regional han producido los criaderos más importantes, tales como los de Siberia, Madagascar y México. El mineral procedente de la gran isla asiática de Ceilán es muy apreciado por su pureza y estado de cristalización, presentándose en filones hidrotermales.

La producción anual de grafito es de 250.000 toneladas, aproximadamente, siendo Rusia, Corea, Austria, Ceilán, la República y gran isla africana de Madagascar y México, los países productores, aunque también se extrae, en escala mucho menor, de Italia, Estados Unidos de la América del Norte y España.

Se utiliza su variedad hojosa para la fabricación de crisoles industriales, para el revestimiento de hornos de fundición y como lubricante. La variedad terrosa, de textura microcristalina, se emplea en pinturas antioxidantes y para la fabricación de minas de lápices.

*Atlas de* MINERALOGIA
POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS
CLASE I · ELEMENTOS
Serie B Num. 2

# No metales

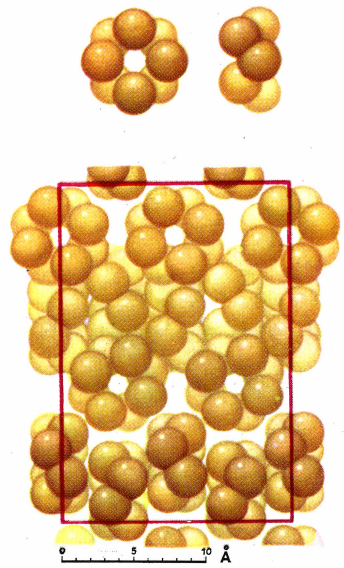



Fig. 2 - Estructura del azufre

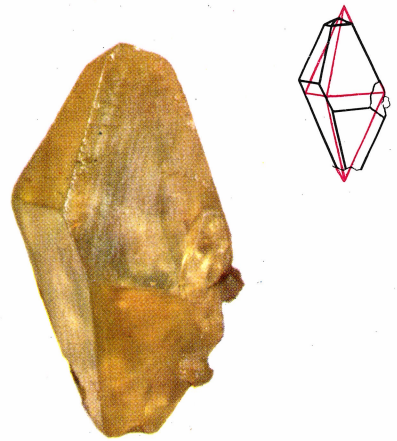


Fig. 1 - Cristal de azufre (bipirámide rómbica) La Católica (Sicilia)

Fig. 3 - Esquema del domo de sal de Hoskins Mound (U. S. A.) con casquete de azufre

Fig. 4 Grafito Mozambique

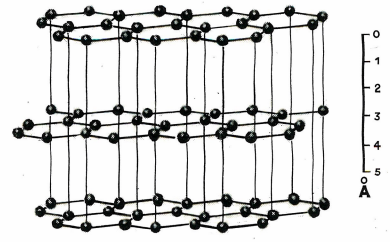



Fig. 5 - Estructura del grafito

# No metales

DIAMANTE. Es la piedra preciosa más apreciada y la substancia natural más dura que se conoce. Está formado por carbono puro, es inatacable por los medios ordinarios, y su elevado índice de refracción y dispersión le proporciona un brillo y reflejo de imposible superación.

Parece que el descubrimiento del primer diamante aconteció en la India (Asia meridional), aproximadamente 800 años a. J. C., y, aunque conocido y apreciado por griegos y romanos, no alcanzó todo su valor hasta que, en la Edad Media, se halló el modo de tallarlo. A partir de entonces, su valor ha ido en aumento continuamente, de tal manera, que la cantidad de diamantes equivalente al precio de 12 toneladas de oro podrían ocultarse en una sola persona.

El diamante cristaliza en el sistema regular, existiendo opiniones dispares sobre la clase cristalina a que pertenece, ya que los datos experimentales apoyan tanto su inclusión en la holoedria como en la *hemiedria hemimórfica*.

En su estructura existen dos tipos de átomos de carbono (fig. 1), marcados A y B. Los primeros se disponen en los vértices y centros de las caras de un cubo, dando una red cúbica de caras centradas, y los segundos se hallan entre 4 átomos de carbono en coordinación tetraédrica con ellos. El enlace se verifica entre los átomos de carbono A y B, que están separados por 1'54 Å, y forman un ángulo de 108° 54', que es exactamente la distancia y el ángulo de enlace de los compuestos alifáticos.

Se presenta en cristales octaédricos, algunas veces dodecaédricos, raramente cúbicos, de gran perfección, desarrollados en todo su contorno y aislados, o en cristales deformados, irregulares, con fenómenos de corrosión y redondeamiento de sus caras.

Tiene exfoliación perfecta según las caras del octaedro, propiedad que se aprovecha para su talla; es muy frágil, rompiéndose por percusión y pudiéndole reducir a polvo en mortero de acero.

Tiene *brillo adamantino* característico, fuerte refracción y elevada dispersión, pudiendo ser transparente y claro como el agua, o bien turbio y opaco. Incoloro, se presenta en tonalidades difíciles de observar, y raras veces de color rojo intenso y azul. Al tallarlo, se aprovechan sus propiedades ópticas para producir en su interior el fenómeno de la refracción total, obteniéndose la piedra preciosa conocida por *brillante* (fig. 2). Es fuertemente fluorescente a la luz ultravioleta, buen conductor del calor y triboeléctrico.

En el diamante podemos distinguir las variedades: *diamante*, cristales aislados y muy puros, piedra preciosa; *esferas de bort* o *balás*, masas densas, irregulares, fibrosorradiadas; *carbonado*, cantos rodados del tamaño de un guisante y aspecto de coque. Las dos últimas variedades constituyen los diamantes industriales.

Se hallan en yacimientos primarios (fig. 3), en el África del Sur, en chimeneas verticales llenas de una roca ultrabásica, rica en olivino, denominada *kimberlita*, en la que los diamantes están diseminados; en yacimientos secundarios, en forma de placeres diamantíferos, de gran difusión, acompañados de cuarzo y de otras piedras preciosas.

Los diamantes antiguos procedían principalmente de la India, hasta que con el descubrimiento de las minas sudafricanas, que aumentaron grandemente la producción de diamantes, la Costa de Oro (hoy Ghana, África) y, posteriormente, la Unión Sudafricana pasaron a ser los primeros países productores. Se calcula que la mitad de la producción anual de diamantes es bort; una cuarta parte de ellos tiene imperfecciones y no tiene el color adecuado, pero se pueden tallar, y sólo la cuarta parte es material precioso, aunque pequeño la mayor parte del mismo. Sólo un 5 por 100 son piedras de 2 quilates (1 quilate=0'2 gramos) en bruto, que, talladas, dan brillantes de 1 quilate.

En el precio de los diamantes interviene gran número de factores; así, entre dos piedras del mismo peso siendo una de ellas de un blanco purísimo y la otra ligeramente amarillenta, hay gran diferencia de valor.

Las piedras más famosas proceden de las Indias Orientales, el antiguo país de los diamantes, hoy agotado, entre las que son de destacar: el *Koh-i-noor*, perteneciente a la Corona inglesa, de 106 quilates; el *Florentino* o *Toscano*, de 139 quilates; el *gran Mogol*, que pesaba 793 quilates, hoy día disgregado. Del África del Sur se han extraído piedras enormes, como el *Excelsior*, de 971'75 q., y el *Cullinan*, que pesó 3024'75 q., y, regalado al rey Eduardo de Inglaterra, se partió en 105 piezas, dos de las cuales, de 516 y 309 q., son los mayores diamantes tallados que se conservan.

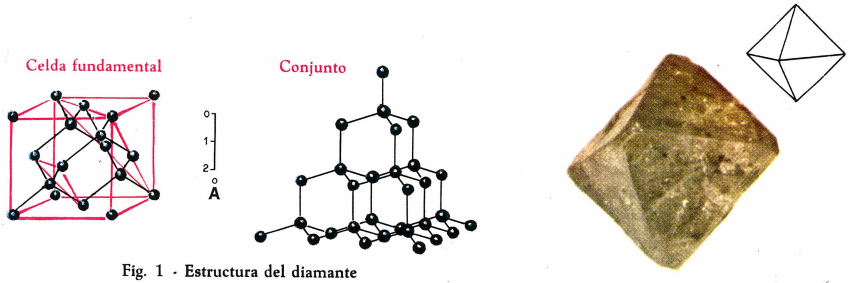


Fig. 1 - Estructura del diamante

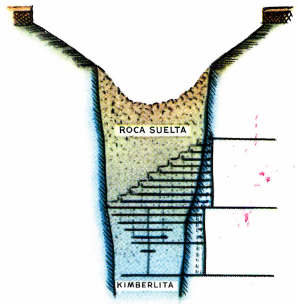


Fig. 3 - Sección del tubo diamantífero de Kimberley (Africa del Sur)

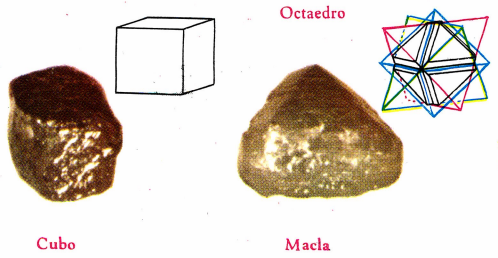


Fig. 2 - Diamante, cristales naturales

Fig. 4 - Algunos diamantes tallados célebres

## Clase II. SULFUROS

Se reúnen en esta clase aquellos minerales cuya composición es la combinación no oxigenada de metales y metaloides con S, As, Sb, Bi, Se y Te; comprende los sulfuros sencillos y dobles y las sulfosales. Físicamente, se caracterizan por su aspecto metálico, peso específico elevado y opacidad. Económicamente, es muy importante, ya que en ella se hallan las menas metálicas más útiles.

### Grupo Argentita-Calcosina.

Los minerales de este grupo son sulfuros, telururos y seleniuros de plata y cobre. Todos ellos son dimorfos, con una forma cúbica de alta temperatura, estable por encima de los 180°-200° C, de estructura sencilla, y otra rómbica, estable a la temperatura ambiente, de estructura muy compleja y no perfectamente conocida. Las cristales cúbicos formados por encima de los 200° C, pasan a rómbicos al descender la temperatura, conservando la forma cúbica. Esta propiedad ha motivado que se hayan descrito estos minerales como pertenecientes al sistema cúbico, aunque con marcada anisotropía óptica.

ARGENTITA, $SAg_2$. Se presenta en octaedros o en grupos de agregados holoáxicos; también en formas reticuladas, arborescentes, etc. Color gris de plomo obscuro y brillo metálico, que pasa a mate al oxidarse; raya de las mismas características. Los cristales rómbicos, de ángulos muy semejantes a los cúbicos, forman la *Acantita*. Es el mineral primario más importante de plata, hallándosele principalmente en México, y, bellamente cristalizado, en la región alemana de Sajonia (fig. 1).

CALCOSINA, $SCu_2$. Se reúnen bajo este nombre una serie de minerales que responden a la fórmula anterior, pudiendo agruparse en tres tipos claramente definidos: I) Calcosina rómbica, formada por bajo de 103°; II) Calcosina formada por encima de 103°, como $\alpha$—$SCu_2$, e invertida a la forma rómbica al bajar la temperatura; y III) Calcosina cúbica, formada por $SCu_2$, estabilizada debido a tener en suspensión SCu, ópticamente isótropa y de color azul típico. La más frecuente es la calcosina rómbica que se presenta en cristales pseudohexagonales, formando una macla múltiple de 3 cristales, muy típica. Es mena de cobre, hallándose, entre otros minerales de cobre, en las minas de Riotinto (prov. de Huelva, España) (fig. 2).

### Grupo Blenda-Wurtzita.

Este grupo, al igual que en el caso anterior, nos presenta un claro ejemplo de dimorfismo: la Blenda y la Wurtzita tienen idéntica composición química, SZn, pero la primera cristaliza en el sistema regular y la segunda en el hexagonal.

La Blenda posee estructura tipo Diamante, en la que los átomos de Zn están ordenados según una red cúbica de caras centradas, posiciones A del Diamante (lám. B3, fig. 1), y los de S, dispuestos según otra red idéntica, están situados entre 4 átomos de Zn, en coordinación tetraédrica con ellos, posiciones B del Diamante. Cada átomo de Zn, en relación con los de S, está en el centro de un tetraedro cuyos vértices los ocupan estos últimos, y cada átomo de S está, a su vez, en el centro de otro tetraedro en cuyos vértices están los Zn (fig. 3). Esta estructura es típicamente hemiédrica, de modo que los cristales de Blenda se presentan en tetraedros, o en formas tetraédricas, como el tritetraedro y el hexatetraedro, o en la combinación de ellos con el cubo.

La Wurtzita, forma polimorfa más rara, tiene una estructura (fig. 4) en la que se conserva la disposición relativa de los átomos de Zn con respecto a los de S, estando relacionada con la Blenda, al igual como lo están los empaquetamientos cúbicos y hexagonal compactos (lámina B1); uno de los ejes ternarios de la Blenda ha pasado a senario, desapareciendo los restantes ejes y quedando los planos. Asimismo, los rarísimos cristales de Wurtzita son hemiédricos.

BLENDA. Se presenta en cristales deformados y en mezclas de tipo espinela; en agregados granudos y como material fosilizante. En general, de color pardo obscuro a negro, brillo adamantino, opaco, con raya pardo de hígado a blanco-amarillenta (fig. 5). En cristales bien conformados, de color amarillo de miel, brillo adamantino y translúcido o incluso transparente, dando la variedad de *Blenda acaramelada* o *melada*. Es isótropa, algunas veces con anomalías debido a contener Wurtzita. Presenta los fenómenos de la triboluminiscencia y fluorescencia, siendo piroeléctrica y diatérmana. Mena muy importante de Zn, se encuentra en innumerables localidades y en los más diversos yacimientos, casi siempre acompañando a la Galena, de la que se separa por el método de flotación. Es abundante en España, donde, en los Picos de Europa, se hallan bellos cristales de Blenda acaramelada (fig. 6). El 60 por 100 de la producción mundial de Zn procede de la blenda.



### Grupo argentita - calcosina

Fig. 1 - Argentita. Freiberg - Sajonia (Alemania)

Fig. 2 - Calcosina. Cornualles (Inglaterra)

### Grupo blenda – wurtzita

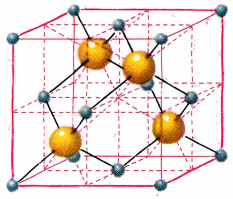



Fig. 3 - Estructura de la blenda

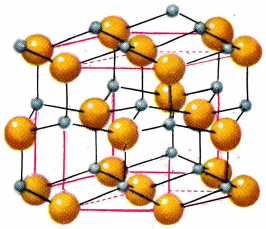


Fig. 4 - Estructura de la wurtzita

Fig. 5 - Blenda sobre ankerita y cuarzo
Cumberland (Inglaterra)

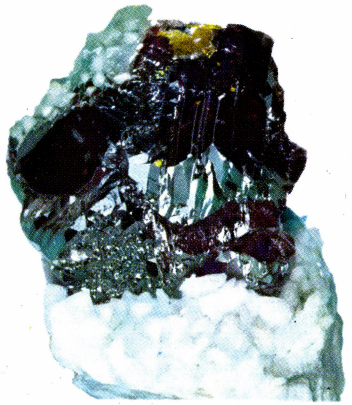


Fig. 6 - Blenda acaramelada sobre dolomita
Picos de Europa - Santander (España)

**Grupo Calcopirita.**

Minerales de composición química compleja y estructura casi idéntica a la Blenda, de la que se diferencian por el hecho de que los átomos de Zn están sustituidos por átomos de Fe y Cu en el caso de la Calcopirita, y de Cu, Ag, Fe, Zn o Hg, en el de la serie de las Tetraedritas. En la Calcopirita, los átomos de Fe y Cu alternan en sus posiciones, de modo que la celda fundamental es doble y tiene una de sus aristas mayor que las otras dos, poseyendo simetría tetragonal; en la Tetraedrita, los átomos de metal están distribuidos al azar, produciéndose toda una serie de substituciones y siendo, la celda fundamental, del mismo tamaño aproximado que el de la Blenda, lo cual motiva la simetría cúbica del mineral.

CALCOPIRITA, $S_2FeCu$. Cristales tetragonales pequeños deformados, de tipo esfenoédrico y reunidos en drusas; en agregados masivos y compactos. El esfenoedro de este mineral es casi un tetraedro regular, motivo por el que, durante largo tiempo, se supuso que la calcopirita era de simetría regular. Presenta maclas de compenetración de dos esfenoedros. Color amarillo latón, con tinte verdoso, a menudo iridiscente y algunas veces abigarrado y negro por alteración superficial. Brillo metálico y raya negro-verdosa. Es uno de los minerales más frecuentes y es la mena de cobre más difundida, aunque no la más importante; se presenta en muy diversos tipos de yacimientos. Se halla en grandes cantidades en el complejo cuprífero de Arizona (U.S.A.) y en el de Chile; en España no hay yacimientos de Calcopirita propiamente dichos, pero abunda acompañando a otros minerales, principalmente Pirita. En Cornualles (Inglaterra) se encuentran hermosos cristales sobre cuarzo.

TETRAEDRITA, $S_6(Sb, As, Bi)_2(Cu_2, Ag_2, Fe, Zn, Hg)_3$. Cristales de hermosa conformación, gran número de caras y típicamente hemiédricos; su nombre deriva de la forma tetraédrica en que se presenta; se denomina Tennantita cuando contiene As en lugar de Sb. Gran número de maclas de compenetración, generalmente del tipo Espinela. Color que varía según su composición, al igual que las restantes propiedades físicas; gris de acero, con tinte oliváceo en las variedades con Sb y Cu; tirando a negro de hierro en aquellas que contienen Fe y Zn; blanco amarillento, si hay Hg y Bi, y azulado, si existe As. Brillo metálico en superficies recientes, que pasan a mate al oxidarse. Raya negra, que pasa a pardo-rojiza por frotación. Toda la serie son esencialmente minerales de cobre de gran difusión y de origen hidrotermal; los cobres grises son menas importantes de cobre y plata.

**Grupo de la Niquelina.**

Los minerales de este grupo se caracterizan por sus estructuras semejantes, carácter fuertemente metálico, peso específico elevado y la inconstancia en su composición química, que, a su vez, es sencilla.

La estructura tipo para todos ellos es la de la Niquelina, AsNi; en ella, los átomos de As están ordenados en dos redes hexagonales, que recuerdan el empaquetado compacto, con seis átomos de Ni coordinando con cada uno de ellos. A su vez, los átomos de Ni están rodeados por seis átomos de As, pero tienen a dos de Ni a distancias tan cercanas, que debe considerarse que coordinan con ellos.

En la *Pirrotina*, SFe, también denominada *pirita magnética*, siempre existe una cantidad de S superior a la relación S:Fe=1:1, siendo la verdadera de 7:6 o de 12:11. No obstante, su estructura es idéntica a la descrita, sustituyendo el As por S y el Ni por Fe. Esta variación de la relación S/Fe es debida a que existen en la estructura de la pirrotina una serie de posiciones correspondientes a átomos metálicos que están vacías; es decir, existe una falta de Fe en el mineral, a pesar de lo cual la estructura es perfectamente estable.

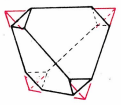
NIQUELINA, AsNi. Cristales raros, de color rojo de cobre claro, que pasa a gris por alteración. Brillo metálico en fractura reciente. Raya negro-azulada. A la luz reflejada, es fuertemente anisótropo y pleocroico. Es mena de Ni, existiendo en grandes cantidades en Ontario (U.S.A.); en España, se la encuentra en los Pirineos aragoneses y en la provincia de Málaga.

MILLERITA, SNi. Se presenta en cristales aciculares, pertenecientes al sistema romboédrico, formando agrupaciones alargadas y radiadas, que tienen la apariencia de un filtro capilar.

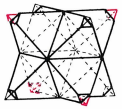
Color amarillo latón y brillo metálico, los cristales muy finos son gris-verdosos, pardos y aun negros. No se encuentra en grandes cantidades y casi siempre proviene de otros minerales de níquel, hallándosele en los yacimientos de níquel de las más diversas especies.

## Grupo calcopirita

Fig 1 - Calcopirita sobre cuarzo Cornualles (Inglaterra)



Cristal compuesto de dos esfenoedros



Macla de compenetración de dos tetraedros

Fig. 3 - Tennantita. Oruro (Bolivia)

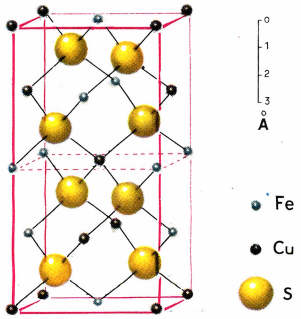



Fig. 2 - Estructura de la calcopirita

## Grupo niquelina

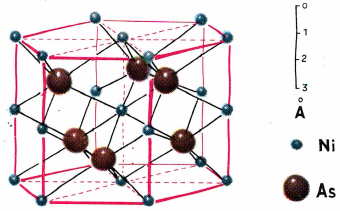
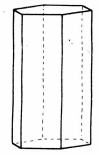



Fig. 4 - Estructura de la niquelina



Prisma hexagonal

Fig. 5 - Pirrotina con blenda. Trepka (Yugoslavia)

Fig. 6 - Millerita. Bellmunt (España)

**Grupo Galena.**

La Galena, SPb, cristaliza en el sistema regular, con estructura tipo cloruro sódico, en cristales de magnífica conformación, casi siempre implantados y de considerable magnitud, integrados principalmente por el cubo y el octaedro, solos o en combinación. Algunas veces están deformados en la dirección del eje cuaternario, o presentan caras curvas y escalonadas de bordes dentados. Maclas frecuentes, semejantes a la de la Espinela. Tiene exfoliación perfecta y característica, según las caras del cubo; fractura subconcoidea; dureza, 2 ½; punto de fusión, 1.115° C.

Color gris de plomo claro, fuerte brillo metálico, sobre todo en las superficies de exfoliación, que se vuelve mate por oxidación. Raya negro-grisácea, mate. El mineral es opaco e isótropo a la luz reflejada.

De composición química muy constante, siempre contiene una pequeña cantidad de plata (entre 0'01 y 0'3 por 100) que puede llegar a ser del 1 por 100 o de más, en las galenas argentíferas. Debido a la producción mundial de Galena, la pequeña cantidad de plata que lleva es una de las menas más importantes de este metal precioso.

Los yacimientos de este mineral se caracterizan por tener en su superficie numerosos productos de meteorización, bellamente cristalizados, tales como la cerusita, anglesita y piromorfita. Son de origen hidrotermal los de mayor difusión, aunque también existen de origen metasomático y sedimentario. En ellos, la Galena va siempre acompañada de Blenda, en íntima concreción con ella, y cuarzo como ganga, con algo de carbonatos y baritina.

La producción mundial de plomo procede de tres minerales: Galena, Cerusita ($SO_3Pb$) y Anglesita ($SO_4Pb$), siendo, los dos últimos, productos de transformación de la Galena y hallándose asociados a los yacimientos de este mineral. A pesar de la gran difusión de la Galena, el mineral productor de plomo procede de pocas regiones, debiendo citar en primer lugar la del valle del Mississippí (U.S.A.), centrada en Tri-State, que es donde existe la mayor concentración mundial de minerales de cinc-plomo; en México existe, en el centro del país, una rica región que se extiende por Chihuahua y Coahuila; también América del Sur contiene importantes depósitos de mineral. Casi la mitad de plomo y cinc del mundo procede del continente americano. En Europa, existe la *provincia mediterránea* con los ricos yacimientos españoles, explotados por los romanos hace 3000 años, siendo los más importantes los de Sierra Morena en el distrito de Linares-Carolina (prov. de Jaén, España). También en España, en la región de Cartagena y Almería se extrajeron durante el siglo pasado, grandes cantidades de Galena argentífera que proporcionaron gran prosperidad al país y que actualmente se hallan prácticamente agotadas.

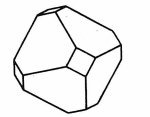
**Grupo del Cinabrio.**

El Cinabrio, SHg, tiene la misma simetría que el Cuarzo, cristalizando en la clase enantiomórfica romboédrica, con estructura tipo ClNa deformada homogéneamente, de manera que el cubo que constituye la celda fundamental del cloruro sódico, se transforma en un romboedro con átomos de Hg en los vértices y en mitad de las caras, y de S en mitad de las aristas; la distorsión es de naturaleza tal, que se producen formas enantiomórficas ópticamente activas.

Se presenta en cristales poco frecuentes, de hábito tabular o cuboide, formados por el romboedro, de ángulos muy cercanos al cubo, y por el pinacoide básico; generalmente informe, en agregados granudos, diseminado y en eflorescencias. Color y raya rojo cochinilla, variando, en los agregados, del rojo escarlata al rojo obscuro; brillo adamantino. Opaco, aunque transparente en sección delgada. Ópticamente uniáxico positivo, notable por el alto valor de sus índices de refracción, gran birrefringencia y fuerte dispersión; tiene poder rotatorio quince veces superior al del cuarzo.

Mineral de gran importancia económica, es mena de mercurio. Sus yacimientos son de origen hidrotermal y se han formado a baja temperatura, ya por reemplazamiento (Almadén, en la provincia española de Ciudad Real), ya por relleno de fisuras (Italia): las minas de Almadén, en explotación desde hace más de 2000 años, son las más ricas del mundo. Este yacimiento se halla situado sobre pizarras y cuarcitas silúricas, siendo su riqueza media de 5 a 8 por 100 de mercurio y, en algunos lugares, hasta de 20 por 100. Yacimientos de importancia son los de Toscana y Trieste, en Italia, y California, en los Estados Unidos de América del Norte, aunque la riqueza media sea inferior a la de Almadén (España). Existen depósitos de menor importancia en Méjico y en Perú.

## Grupo galena



Cristal compuesto de octaedro y cubo

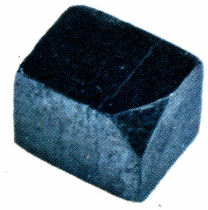


Fig. 2 - Cubo de exfoliación de galena con cara de octaedro

Fig. 1 - Galena (cristal compuesto de cubo y octaedro), sobre calcita. Bellmunt (España)

## Grupo cinabrio

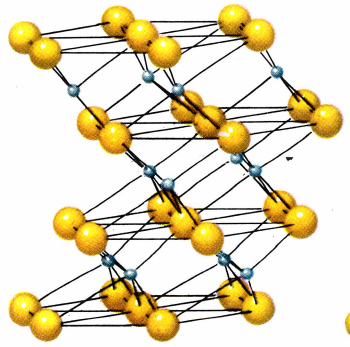
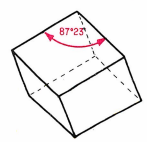



Fig. 3 - Estructura del cinabrio




Romboedro

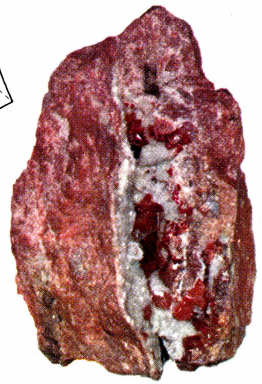


Fig. 4 - Cinabrio con cuarzo. Almadén (España)

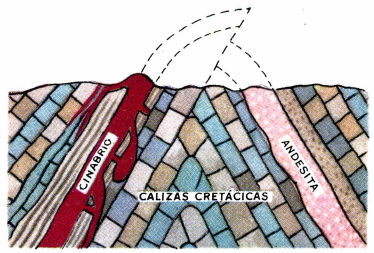



Fig. 5 - Yacimiento de cinabrio de Huancavélica (Perú)

**Grupo Antimonita.**

Los minerales de este grupo, *Antimonita* o *Estibina* $S_3Sb_2$, y *Bismutina*, $S_3Bi_2$, se caracterizan por su estructura formada por cadenas de átomos de S y Sb o Bi, estrechamente unidos por enlace covalente, situadas paralelamente al eje c; las cadenas se unen entre sí por enlaces residuales. Esta estructura determina la perfecta exfoliación y el hábito alargado paralelamente a la dirección de las cadenas.

Los cristales rómbicos, ricos en facetas, se presentan frecuentemente ondulados y aun curvos, con buena conformación en sus extremos. Mineral blando (D=2), es el primero de la escala de fusibilidad, fundiéndose a la llama de una cerilla. Color gris de plomo y brillo metálico que se vuelve mate.

Es la mena más importante de antimonio, siendo China, con los depósitos de Hunán, el principal país productor. Bolivia y, sobre todo, Perú, en una región que va desde el lago Titicaca hasta Atocha (en la propia Bolivia), y también Méjico, poseen grandes reservas de este mineral.

**Grupo de las Platas Rojas.**

Forman un grupo muy homogéneo, integrado esencialmente por la *Proustita*, $S_3AsAg_3$, y la *Pirargirita*, $S_3SbAg_3$. Cristalizan en la clase hemimórfica romboédrica, en cristales de numerosas facetas, regularmente muy hermosos y bien desarrollados; también en maclas de diferentes tipos. En las hendiduras se presenta informe, diseminado y como eflorescencia.

Color rojo escarlata a rojo cinabrio, en la proustita, y rojo obscuro a gris de plomo, en la pirargirita. La distinción entre ambos se efectúa mejor con la raya: rojo escarlata en la primera, y rojo cereza en la segunda. Son mena de plata importante y frecuente, ocurriendo asociadas con otros minerales de plata y galena. Son importantes los yacimientos de Zacatecas y Guanajuato, en Méjico; Chañarcillo, en Chile; Colquijirca, en Perú, y Huanchaca, en Bolivia. En España se les encuentra en Hiendelaencina.

**Grupo Rejalgar-Oropimente.**

Minerales de aspecto marcadamente no metálico, constituyen un grupo bastante heterogéneo.

REJALGAR, SAs. Cristales monoclínicos bien formados, ordinariamente pequeños, prismáticos, con estriaciones verticales, de color rojo (el llamado rojo aurora) y raya amarillo-anaranjada, brillo adamantino, y blandos (D=1'5-2). Ópticamente biáxico-negativos, con fuerte dispersión. Se le encuentra en bellos cristales en Binnenthal (Suiza), Nagyag (Hungría), Felsö-Banya (Rumania) y Nevada (U.S.A.), casi siempre como mineral subordinado en el yacimiento.

OROPIMENTE, $S_3As_2$. Cristales monoclínicos raros y pequeños, frecuentemente lenticulados. Color amarillo de limón, translúcido, con raya amarilla y brillo graso semejante al de la blenda. Ópticamente, biáxico positivo, pleocroico y fuerte birrefringencia.

Ocurre en las mismas localidades que el rejalgar, del que procede por alteración. Son dignos de citar los cristales de Tajowa (Hungría) y de Anatolia (Turquía); en España se le halla en Pola de Lena, en Almadén y en Sierra Almagrera.

---

*(Continuación de la TARJETA E2.)*

y 1470ºC, y como Cristobalita a partir de esta temperatura. Las dos últimas fases son metaestables en las condiciones ambientales, hallándose ejemplares naturales de las mismas. Se diferencian en la disposición de los $SiO_4$ unidos por los vértices (fig. 8), dando esquemas distintos para cada mineral; el Cuarzo es romboédrico; la Tridimita, hexagonal, y la Cristobalita, cúbica. Esto explica que sean metaestables, ya que para pasar de una fase a otra es necesaria la rotura del enlace entre tetraedros, y estas uniones son muy fuertes (resistencia del Cuarzo a la erosión). Además de estas fases, cada una de ellas tiene formas de alta y baja temperatura, perfectamente reversibles con puntos de inversión a 573º, 140º y 240ºC. Esto sería debido a un movimiento de los tetraedros (fig. 9) que no implicaría la rotura de los enlaces tetraedro-tetraedro; lo cual explica la reversibilidad del fenómeno.



## Grupo antimonita

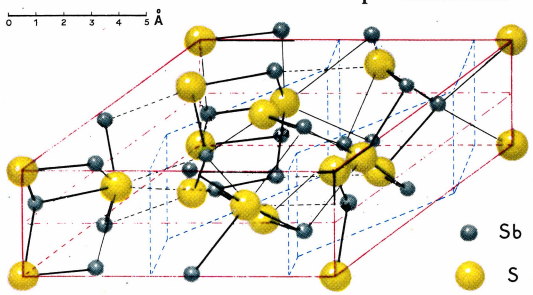



Fig. 1 - Estructura de la antimonita

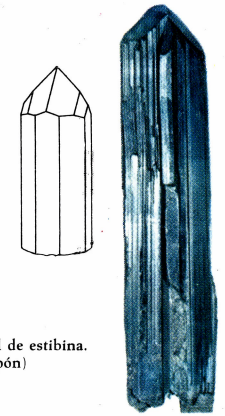


Fig. 2 - Cristal de estibina. Iyo (Japón)

## Grupo de las platas rojas

Fig. 4 - Pirargirita. Hiendelaencina-Guadalajara (España)

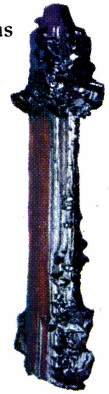


Fig. 5 - Proustita. Chañarcillo (Chile)

Fig. 3 - Estibina, agregado cristalino (Bolivia)

## Grupo rejalgar-oropimente

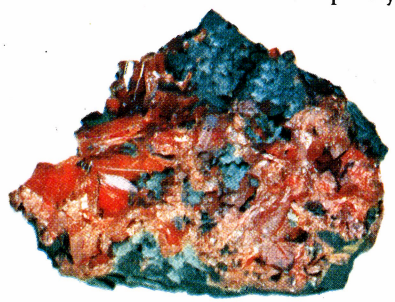


Fig. 6 - Rejalgar. Nevada (U.S.A.)

Fig. 7 - Oropimente. Anatolia (Turquía)

**Grupo Pirita-Marcasita.**

Los minerales que integran este grupo responden a la fórmula $X_2A$, siendo A → Fe, Co o Ni, y $X_2$ → $S_2$, $As_2$, o SAs. Se pueden diferenciar en dos series; la de los que tienen simetría cúbica, *serie de la Pirita*, y la de los que poseen simetría diagonal, *serie de la Marcasita*. Dentro de los primeros, son paramórficos los bisulfuros, *Pirita* $S_2Fe$, y los biarseniuros, *Sperrylita* $As_2Pt$, mientras que los sulfoarseniuros, *Cobaltina* SAsCo, son tetartoédricos; igualmente, entre los segundos, es holoédrica rómbica la *Marcasita*, $S_2Fe$, mientras el *Mispiquel*, SAsFe, es holoédrico monoclínico. Esta disminución de simetría es debida a la pérdida del centro de simetría, al no ser iguales los dos átomos del grupo $X_2$. No hay en ellos más caso de dimorfismo que el que presentan Pirita y Marcasita.

PIRITA, $S_2Fe$. La estructura de este mineral tiene como característica la aparición de grupos moleculares perfectamente definidos y que actúan como si fueran un ion sencillo. Los dos átomos de S que forman el grupo $X_2$ están unidos por enlace covalente muy fuerte, siendo verdaderas moléculas, coordinando cada una de ellas con seis átomos de Fe, de manera que cada S es tangente a tres Fe. La ordenación de las partículas en la estructura es exactamente la del cloruro sódico, estando los Fe en los vértices y mitad de las caras de un cubo y los $S_2$ en mitad de las aristas. La dirección del eje de las moléculas $S_2$ con respecto a las aristas del cubo es constante y determina la aparición del estriado que presentan las caras del cubo en algunos cristales de pirita, y es la causa del paramorfismo de este mineral.

Magníficamente cristalizado en cubos, o en dodecaedros pentagonales, denominados piritoedros por la abundancia de su aparición; algunas veces, cristales con gran número de caras, otras, presentando fuertes deformaciones; también, en agregados granudos o fibroso-radiados, informe, en masas, etc. Maclas de complemento características, denominadas *cruz de hierro*, formadas por dos piritoedros que se compenetran. Se presentan, con frecuencia, agregados heterogéneos de Pirita y Marcasita.

Color amarillo latón, algunas veces con superficie abigarrada, o bien pardo por alteración superficial en limonita. Brillo metálico. Raya negro-verdosa. Opaco, a la luz reflejada tiene coloración blanco-crema. Dureza entre 6 y 6'5; por percusión produce chispas y olor a azufre. Es paramagnético, buen conductor y termoeléctrico.

Algunas veces contiene calcopirita interpuesta, dando las mal llamadas *piritas cupríferas*. Es el más universal y abundante de todos los sulfuros; se presentan bajo todas las condiciones de deposición mineralógica, siendo un ejemplo de *mineral persistente*. En la provincia española de Huelva, dónde existen las masas de pirita más importantes del mundo (Riotinto y Tharsis), éstas son de origen hidrotermal; como segregación magmática, registramos las de Sulitjelma (Noruega); en Clifton (Arizona, U.S.A.) se hallan grandes núcleos producidos por metasomatismo de contacto; en el Vesubio (Italia), se le ha hallado como producto de sublimación; es constituyente común de lechos sedimentarios, de los cristales diseminados en margas y de los depósitos fosilíferos. Es prácticamente imposible citar todas las formas de yacer de la pirita; sólo insistiremos en que se presenta en casi todos los tipos de yacimientos conocidos.

Los agentes atmosféricos la meteorizan rápidamente, pasándola a limonita; en los yacimientos de este mineral, se halla casi siempre hematites parda, en su parte superior, constituyendo la montera de hierro del depósito. La pirita es materia prima para la obtención del ácido sulfúrico.

MARCASITA, $S_2Fe$. Cristales rómbicos, no muy frecuentes, de formas variadas; se presenta más a menudo en maclas múltiples, muy características, denominadas *crestas de gallo*, que, cuando se reúnen en asociación cíclica, producen el *hierro en lanza*. Algunas veces se presenta en forma compacta (pirita hepática), y en multitud de formas variadísimas. Propiedades iguales a la pirita, con color ligeramente verdoso y menos amarillo; se alteran con mayor facilidad que la pirita, por lo que a menudo se presenta con corteza de meteorización de color de herrumbre.

Mineral muy extendido, casi siempre se presenta acompañando a la pirita.

MISPIQUEL, SAsFe. Cristales monoclínicos, pseudorrómbicos, que se unen dando una macla de compenetración de dos individuos. Color blanco, de estaño a gris de acero, frecuentemente con alteración superficial; raya negra y brillo metálico. Es mineral común, aunque no con tanta difusión como los dos anteriores. Se utiliza para la obtención del anhídrido arsenioso, y algunas variedades, por su contenido en metales preciosos.


# Atlas de MINERALOGIA

POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS

CLASE II · SULFUROS

Serie B Num. 8


## Grupo pirita-marcasita

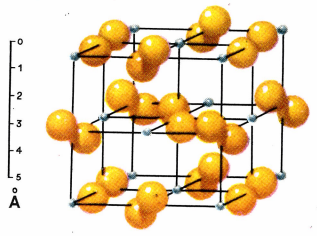



Fig. 1 - Estructura de la pirita

Fig. 2 - Pirita (dodecaedro pentagonal Ambas Aguas. Logroño (España)

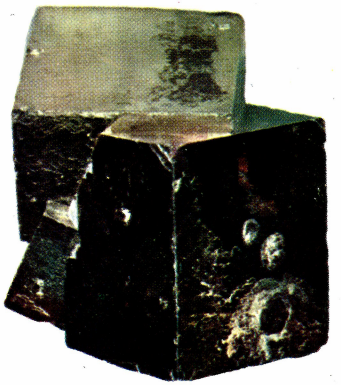


Fig. 3 - Pirita (cristales cúbicos) Valdenegrillos. Logroño (España)

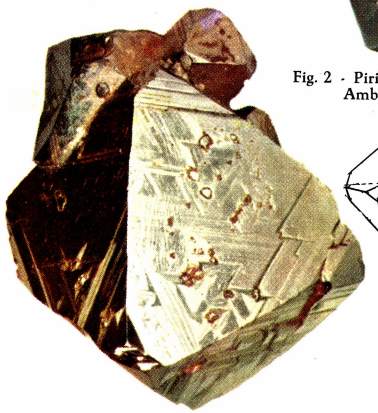
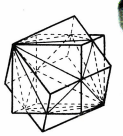


Fig. 4 - Pirita octaédrica Brosso. Piamonte (Italia)



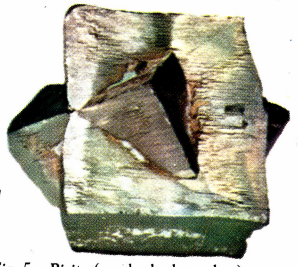


Fig. 5 - Pirita (macla de dos cubos) Ambas Aguas. Logroño (España)

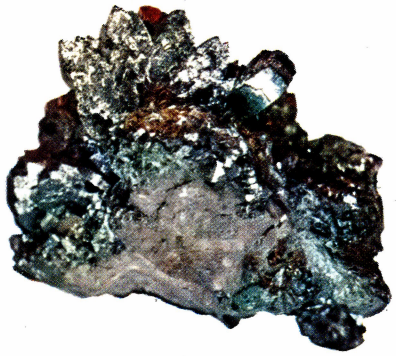


Fig. 6 - Marcasita (cristales en cresta de gallo). Oklahoma (U.S.A.)

Fig. 7 - Mispiquel sobre cuarzo. El Parral. Chihuahua. (México)

## Clase III. SALES HALOIDEAS

Minerales en su mayoría de composición química sencilla, incoloros o teñidos accidentalmente, de poca dureza, casi siempre solubles en agua y de aspecto salino característico. Formados por cristalización en mares o lagos salados, como formaciones secundarias modernas o como productos de sublimación de los volcanes.

SAL GEMA, ClNa. La estructura de este mineral ha sido ampliamente descrita en las primeras láminas. Cristaliza en la holoedria regular, principalmente en cubos que, excepcionalmente, pueden llegar a ser de un metro de arista (Allertal superior y Detroit, U.S.A.) y raras veces en octaedros. Se presenta en agregados granudos y fibrosos y en eflorescencias formando estalactitas. Los cristales son incoloros y transparentes, deformados o redondeados por disolución, algunas veces con coloraciones rojas o amarillas por contener óxido de hierro, o irregularmente teñidos de azul, debido, según algunos autores, a sodio metálico coloidal interpuesto en la red; de brillo vítreo; con exfoliación facilísima, según las caras del cubo. Muy soluble en agua (35'91 % a 12°C), no varía su solubilidad al aumentar la temperatura; no es higroscópico, y tiene sabor salado típico. Suele contener inclusiones de agua madre, motivo por el cual al calentarle decrepita; funde a 800°, sin descomposición. Ópticamente isótropo, puede presentar anomalías ópticas (birrefringencia) por presión; es fuertemente diatérmana.

Es el mineral más universalmente conocido y empleado. Debido a que es necesidad básica del hombre, desde los inicios de la humanidad su posesión ha sido motivo de intercambios comerciales y de guerras. Es de todos conocido el impuesto de la sal, que durante la Edad Media fue causa de opresión y de revoluciones en la mayoría de los países europeos. A pesar de su importancia como alimento, la principal demanda de este mineral es para usos industriales, como materia prima básica de la moderna industria química. Se producen unos 35 millones de toneladas de sal anualmente, siendo los Estados Unidos de la América del Norte el mayor país productor.

SILVINA, ClK. Mineral con la mayoría de las características descritas para la sal gema; parece que en lugar de cristalizar en la holoedria regular lo hace en la hemiedria enantiomórfica, de acuerdo con la inclinación que presentan las figuras de corrosión sobre la cara del cubo. Se diferencia de la sal común por su sabor salado amargo, intermedio entre el de las sales sódicas y el de las sales magnésicas. Facilmente soluble en agua, aumenta su solubilidad con la temperatura, lo cual se aprovecha para separarlo industrialmente de la sal gema.

CARNALITA, $Cl_2Mg.ClK.6H_2O$. Se presenta diseminado juntamente con la sal gema y la silvina o en cristales holoédricos rómbicos raros, de hábito hexagonal, incoloros, o de color rojo por interposición de gran cantidad de escamitas de oligisto que le comunican brillo metálico. Ópticamente biáxico positivo, tiene brillo vítreo, que se apaga rápidamente por la higroscopicidad de este mineral. Posee fuerte fosforescencia.

Estos dos últimos minerales son las principales fuentes naturales a partir de las cuales se obtienen las sales potásicas, de tan gran aplicación en agricultura como fertilizantes y en la moderna industria química. La producción mundial es aproximadamente de 3 a 4 millones de toneladas, expresados en $OK_2$, anualmente; Alemania, España y Estados Unidos de la América del Norte son los principales países productores; este último a partir de la primera guerra mundial.

### YACIMIENTOS SALINOS

Los minerales salinos se han formado por la evaporación, en climas cálidos y áridos, de grandes masas de agua marina que quedaron aprisionadas en los continentes por fenómenos orogénicos o transgresivos. El mecanismo fue exactamente igual al que se utiliza actualmente en las salinas, grandes lagos artificiales de agua salada, de los que procede la mayor parte de la sal que se utiliza como alimento. La deposición de los compuestos disueltos en las aguas madres se realiza de acuerdo con su solubilidad. Al iniciarse la evaporación, se deposita, en una primera fase, el sulfato cálcico en forma de yeso y de anhidria; seguidamente lo efectúa la sal común en casi su totalidad, y en la última fase, cuando la evaporación casi es total, se depositan las sales potásicas y magnésicas, mezcladas siempre con sal gema.

Los yacimientos de sal común están formados por capas lenticulares, de espesores que varían entre unos centímetros y varios metros, pudiendo llegar a potencias superiores a los 400 metros. En los grandes depósitos salinos existen los llamados «domos de sal», en forma de cúpula (fig. 12), que son capas profundas, aplastadas y empujadas hacia arriba, y que, debido a la elasticidad del mineral se han fundido en una masa homogénea.

*(Continúa en la TARJETA C2.)*

Fig. 1 - Cristal cúbico de sal gema. Torres. Zaragoza (España)

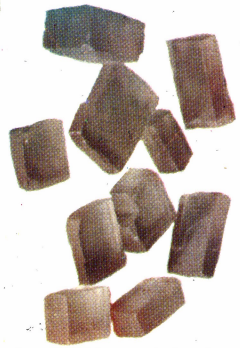


Fig. 2 - Cubos de exfoliación de la sal gema

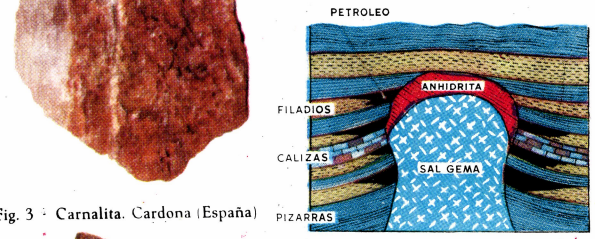



Fig. 5 - Domo de sal (esquema) con casquete de anhidrita

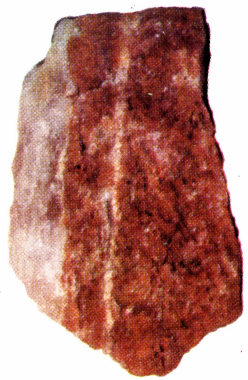


Fig. 3 - Carnalita. Cardona (España)

Fig. 4 - Parte de un pliegue del yacimiento salino de Cardona (España)

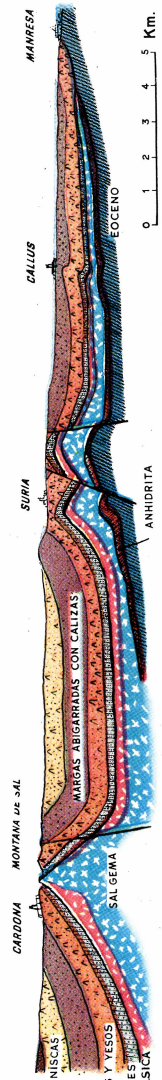



Fig. 6 - Corte esquemático de la cuenca potásica de Suria-Cardona (España)

*(Viene de la TARJETA C1.)*

Ejemplo de este fenómeno es la montaña de sal de Cardona (España).

Los yacimientos salinos mayores del mundo en los que se benefician sales potásicas son la cuenca de Stassfurt (Alemania) y la navarro-catalana (España), con los yacimientos catalanes en explotación de Suria, Cardona, Balsareny y Sallent. La inmensa mayoría del mineral es sal gema, y dentro de ella existen zonas con grandes concentraciones de carnalita en la primera y silvina en la segunda.

---

FLUORITA, $F_2Ca$. Se presenta en cristales perfectos pertenecientes a la holoedria regular, casi siempre con combinaciones de cubo y octaedro o rombododecaedro. Mineral de estructura sencilla dentro de los compuestos $X_2A$, los iones calcio se disponen según una red cúbica de caras centradas, mientras que los iones flúor se sitúan en el centro de los ocho cubitos en que puede dividirse la celda fundamental (fig. 1); cada flúor está rodeado por cuatro calcios en disposición tetraédrica ,y cada calcio lo está por ocho flúors, siendo la coordinación de 4:8. Con frecuencia da maclas de compenetración integradas por dos cubos. También se presenta informe en agregados granudos.

Se exfolia perfectamente según las caras del cubo; pocas veces es incoloro, sino que por lo común está teñido con las coloraciones más diversas, prevaleciendo la violeta; transparente a translúcido y de brillo vítreo.

Ópticamente es isótropo, con índice de refracción bajo y muy poca dispersión, por lo cual se utiliza para fabricar objetivos apocromáticos de microscopio. Los cristales coloreados presentan algunas veces birrefringencia anómala, mientras que los fuertemente teñidos de Cumberland (Inglaterra) son muy fluorescentes; no es conductor de la electricidad.

Mineral de extensión mundial, se le halla por lo común en cantidad explotable en filones hidrotermales de alta y de baja temperatura; a menudo, como ganga en los filones metalíferos. Son dignos de citarse los magníficos cristales de Cumberland (Inglaterra) y los de las grietas alpinas (Goschener Alp); en España se le halla en la mayoría de las provincias; así, en Carabia (Asturias), Gistaín (Aragón), Papiol (Barcelona).

Se le utiliza industrialmente en metalurgia como fundente, y en óptica.

CRIOLITA, $F_6AlNa_3$. Cristales de hábito cuboide, pertenecientes a la holoedria monoclínica; algunas veces, maclados polisintéticamente. En agregados informes acabados en cristales aplanados. De color blanco de nieve, puede ser también pardusco, rojizo y aun negro; brillo nacarado en alguna de sus caras, lo presenta vítreo en general. Ópticamente, biáxico positivo. Presenta una forma polimorfa a los 570°, perteneciente al sistema regular, lo cual hace que pueda tomarse como termómetro geológico, ya que los cristales claros, transparentes y bien desarrollados se forman por debajo de esta temperatura, mientras que las masas turbias e informes lo han hecho por encima de ella.

Muy puro químicamente, se utiliza como fundente de la bauxita en la metalurgia del aluminio. Es mineral típicamente pegmatítico, hallándosele en Sallent de Gállego, Huesca (España), acompañando a la fluorita.

ATACAMITA, $Cl_2Cu.3Cu(OH)_2$. Cristales rómbico-holoédricos, casi siempre prismáticos y de estriación vertical. Se presenta en agregados bacilares hojosos, granudos y en arenas sueltas. Exfoliación perfecta según la cara del 2.° pinacoide. Color verde hierba a verde obscuro; raya verde manzana; brillo vítreo; transparente a translúcido. Ópticamente, biáxico negativo.

Es mineral que se forma en zonas de oxidación, casi siempre en regiones desérticas, siendo en ellas mena importante de Cu. Su nombre deriva del que lleva el desierto de Atacama (Chile), donde se le halló por primera vez; abundante en muchas minas de Chile septentrional, Bolivia y Perú. También se le halla en grandes cristales en Australia.



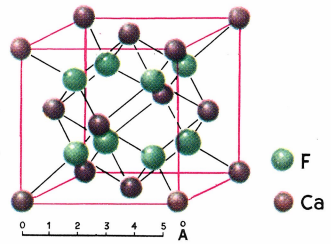



Fig. 1 - Estructura de la fluorita

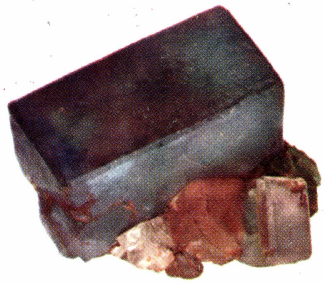


Fig. 2 - Fluorita (cristales cúbicos). Caravia-Asturias (España)

Fig. 3 - Fluorita (cristales cúbicos), sobre calcita. Cumberland (Inglaterra)

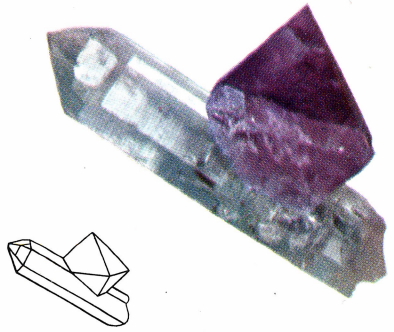


Fig. 4 - Fluorita (cristal octaédrico) sobre cristal de cuarzo. Alpes de Gösehenen (Suiza)

Fig. 5 - Atacamita. Burra-Burra (Australia)

## Clase IV. ÓXIDOS

Comprende todas las combinaciones oxigenadas del reino mineral que no tienen carácter propiamente salino. Los óxidos minerales tienen pocos caracteres comunes, perteneciendo a ellos muchas combinaciones de importancia técnica.

### Grupo Espinela-Magnetita.

Forman un grupo de minerales isomorfos que responden a la fórmula general $A_2O_4B$, en la que A y B pueden ser respectivamente Al, $Fe^3$ o Cr y Mg, $Fe^2$, Zn, Mn, dando origen a gran número de términos difíciles de precisar entre sí. Cristalizan en la holoedria regular, en una estructura compleja en la que los oxígenos se disponen según un empaquetado cúbico compacto y los átomos metálicos llenan los espacios octaédricos y tetraédricos respectivamente. Así, en la espinela cada Al está rodeado por seis oxígenos situados en los vértices de un octaedro, mientras que los Mg lo están por cuatro oxígenos situados en los vértices de un tetraedro. Si se considera a la espinela y la magnetita como puntos extremos de la serie, todos los términos afines a la primera se diferencian de los afines a la segunda por su menor peso específico, carencia de brillo metálico, dureza elevada y raya pálida. Los términos más importantes de este grupo son: Espinela, $Al_2O_4Mg$ (fig. 1); Franklinita, $Fe_2O_4$ (Fe, Mn, Zn) (fig. 2); Cromita $(Cr, Fe, Al)_2O_4$ (Fe, Mg, Zn); Magnetita, $Fe_2O_4Fe$.

ESPINELA, $Al_2O_4Mg$. Cristales pequeños y bien conformados, casi siempre en forma de octaedros, algunas veces de rombododecaedro y raramente de cubo. Maclas de yuxtaposición y de compenetración, siendo el plano de macla una cara de octaedro. Se presenta en casi todas las coloraciones, siendo la roja la más común; raya blanca; brillo vítreo; transparente a casi opaco. Ópticamente isótropo y de índice de refracción elevado. Se presenta en calizas granudas y dolomitas, también en granitos, pero se obtiene en general de arenas fluviales y placeres. Existen distintas variedades, de las cuales la más importante, por ser apreciada en joyería como piedra preciosa, es la *espinela noble*, transparente y roja en distintas tonalidades (fig. 1).

MAGNETITA, $Fe_2O_4Fe$. Cristales a menudo incluidos o superpuestos, de forma octaédrica (fig. 3), raramente cúbica; maclas del mismo tipo que en la espinela. Se presenta en masas compactas y en granos sueltos en las arenas magnéticas. De color negro de hierro y brillo metálico apagado o mate, tiene aspecto de escoria cuando está incluido en los basaltos. Opaco, posee buena reflectividad y es isótropo a la luz reflejada. Tiene magnetismo fuerte, que desaparece al calentarlo al rojo y reaparece al enfriarse. Es difícilmente fusible al soplete (punto de fusión, 1527°).

Es mena de hierro muy importante y extendida, presentándose en algunos yacimientos en masas potentes; generalmente se le halla muy diseminado en las rocas eruptivas, siendo materia básica de la mayor parte de las menas metalíferas sedimentarias.

CRISOBERILO, $Al_2O_4Be$. Cristalizado en la holoedria rómbica, tiene estructura idéntica a la del olivino, substituyendo los átomos de Si por los Al, y los de Mg por los Be. Cristales incluidos de hábito tabular, formando maclas de compenetración de tres individuos (fig. 4), dando un conjunto semejante a una bipirámide hexagonal, siendo muy frecuentes en la variedad denominada *alexandrita*. De color amarillo verdoso a verde esmeralda, algunas veces con reflejos ondulados que recuerdan los ojos de gato; con frecuencia pleocroico; brillo vítreo; transparente a translúcido. Ópticamente biáxico positivo.

Las variedades puras constituyen gemas muy apreciadas, siendo dignas de mención la *ojo de gato* que se halla principalmente en el Brasil, y en Ceilán, en los aluviones de piedras preciosas.

*Atlas de* MINERALOGIA
POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS
CLASE IV · OXIDOS
Serie C Num. 3

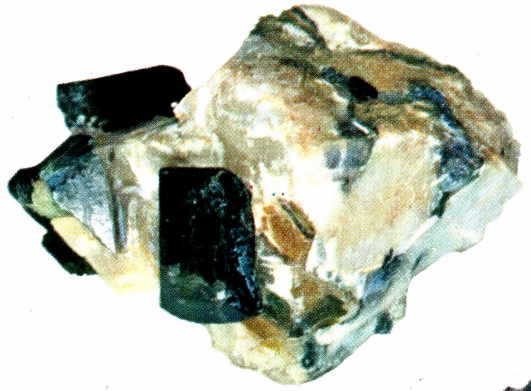


Fig. 1 - Espinela sobre calcita. Franklin Furnace. Nueva Jersey (U.S.A.)

Fig. 2 - Franklinita sobre calcita. Nueva Jersey (U.S.A.)

Fig. 4 - Crisoberilo (macla múltiple). Minas Geraes (Brasil)

Fig. 3 - Magnetita (cristal octaédrico). Madagascar

**Grupo Corindón.**

Minerales que responden a la fórmula $A_2O_3$, pudiendo ser, los dos átomos A, iguales o distintos. Son esencialmente iónicos, con estructura de coordinación 4:6, en la que los oxígenos se hallan en empaquetado hexagonal compacto y los cationes ocupan las 2/3 partes de las posiciones octaédricas que hay entre ellos; cada A está rodeado de seis oxígenos situados en los vértices de un octaedro (fig. 1). Cristalizan en la holoedria romboédrica los que tienen los cationes iguales, y en la hemiedria paramórfica romboédrica los que poseen dos clases de cationes. Los principales elementos del grupo son: Corindón, $Al_2O_3$; Oligisto, $Fe_2O_3$; Ilmenita, $FeTiO_3$.

CORINDON, $Al_2O_3$. Cristales de hábito prismático (fig. 2), algunas veces de tamaño considerable, coronados por bipirámides o romboedros; maclas de yuxtaposición, en laminillas polisintéticas. Incoloro de por sí, aparece teñido con los colores más diversos, dando variedades enormemente apreciadas en joyería; con frecuencia coloraciones zonales debidas a inclusiones de otros minerales, como los zafiros, que presentan hermoso asterismo. Transparente a turbio, brillo vítreo, con pleocroismo en las variedades fuertemente coloreadas. De gran dureza, es el mineral número 9 de la escala de dureza de Mohs. Ópticamente, uniáxico negativo; a veces con anomalía biáxica. Infusible al soplete, funde en el horno eléctrico a 2050°.

Las variedades perfectamente transparentes y de coloración muy pura, denominadas *Corindón noble*, son piedras preciosas; las más apreciadas son el *zafiro oriental*, de coloración azul profundo, y el *rubí oriental* (fig. 3), hermosa gema de color rojo de «sangre de pichón». Los rubíes más bellos proceden de Mogok (Birmania), yacimientos explotados por los reyes birmanos durante siglos, hasta que en 1889 fueron abiertos al tráfico comercial y explotados en gran escala; también se hallan buenas gemas en Ceilán, en los cavaderos de piedras preciosas, mezclados con zafiros. Se encuentra corindón noble en Siam, Madagascar y en el Brasil.

Los cristales turbios y de coloración impura se conocen como *Corindón común*, y la mezcla de granos de Corindón, magnetita, oligisto y cuarzo se denomina *esmeril*; tanto unos como otros se utilizan, por su dureza, para cortar y pulir superficies.

OLIGISTO, $Fe_2O_3$. Cristales con gran abundancia de formas, y de hábito que depende de la temperatura de formación; los formados a temperaturas elevadas son bipiramidales, mientras que los originados a temperaturas inferiores son lenticulares, y los de las grietas alpinas son tabulares. Maclas de distintos tipos; las más frecuentes son de complemento según el pinacoide básico por compenetración de dos romboedros. De color gris de acero a negro de hierro, a veces con hermosas irisaciones en la superficie, raya rojo cereza a pardo rojizo; brillo metálico. Ópticamente, uniáxico con luz reflejada, y buen poder reflector.

Mena de hierro importante y muy extendida; se le halla en yacimientos independientes y como elemento de rocas diversas, especialmente en pizarras cristalinas, siendo su origen muy diverso. Por el aspecto y el color se pueden distinguir el oligisto y la hematites roja. El primero, también denominado especularita, se presenta en buenos cristales y en agregados irregulares en forma de roseta, las rosas de oligisto, de las que se hallan buenos ejemplares en la isla de Elba y en Minas Geraes (Brasil) (fig. 4). El segundo en agregados informes, compactos o terrosos, sin aspecto metálico y de color rojizo. También se presenta, el oligisto, como agregado hojoso, de aspecto de mica o grafito, el oligisto micáceo, asociado a zonas de fuerte metamorfismo. En España se le encuentra con relativa abundancia, siendo importantes las minas de Morro y Ollargan, El Pedroso, la zona de Somorrostro, etc.

---

*(Continuación de la TARJETA E3.)*

lados (labradorización). Es típico de algunas plagioclasas la estructura zonal de sus granos.

Los términos de la serie pueden identificarse por sus propiedades ópticas, principalmente por el ángulo de extinción, índices de refracción, posición del elipsoide óptico y anchura de las láminas de la macla polisintética. El estudio óptico de las plagioclasas de las rocas se efectúa con exactitud por medio de la platina de Fedorow.

*Atlas de* MINERALOGIA
POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS
CLASE IV · OXIDOS
Serie C Num. 4

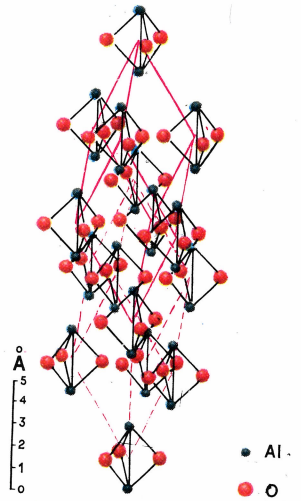



Fig. 1 - Estructura del corindon

Fig. 3 - Corindon, var. rubí oriental, sobre cromo-diópsido. Rodesia

Fig. 2 - Corindon. Madagascar

Fig. 4 - Oligisto en roseta. Minas Geraes (Brasil)

## Grupo del rutilo

**Grupo del Rutilo.**

Forman un grupo de minerales muy homogéneo, tanto por su composición química (bióxidos de Sn, Ti y Pb), como por sus propiedades cristalinas. De tipo estructural igual, se presentan en formas holoédricas tetragonales muy parecidas, a pesar de lo cual no dan mezclas isomorfas.

Su estructura, característica de gran número de compuestos $X_2A$, es sencilla, disponiéndose los iones metálicos según una red tetragonal centrada en el interior, o sea en los vértices y centro de un prisma tetragonal, mientras los oxígenos están sobre las diagonales de las bases. Es típicamente una estructura de coordinación 6:3, en la que cada ion metálico está rodeado por seis oxígenos situados en los vértices de un octaedro, y cada oxígeno, por tres iones metálicos dispuestos en los vértices de un triángulo equilátero.

Los términos más importantes de la serie son: Rutilo, $TiO_2$; Casiteria, $SnO_2$; Plattnerita, $PbO_2$.

RUTILO, $TiO_2$. Cristales prismáticos alargados, coronados por bipirámides tetragonales, algunas veces finamente radiados y hasta en forma de tenues agujas incluidas en cristales grandes de cuarzo (figs. 1 y 2). A menudo forma maclas múltiples, en zigzag o centradas, dando, estas últimas, el *codo del rutilo* (figura 3) cuando constan de pocos individuos, y la *corona del rutilo*, cuando se cierran en forma de anillo (véase lámina 6). Exfoliación perfecta según las caras del prisma, frágil, dureza media (6 a 6'5) y fractura desigual.

Color rojo sangre a rojo pardo, raras veces rojo amarillento, y cuando negro, constituye la variedad *nigrina;* raya pardo-amarillenta; brillo adamantino metaloideo; translúcido a opaco. Ópticamente, uniáxico positivo con birrefringencia muy fuerte; índices de refracción elevados.

Suele contener Fe, llegando, en algunas nigrinas, hasta el 30 por 100 en $Fe_2O_3$. De explotación minera, se presenta en filones de tipo alpino, en finísimas agujas en rocas sedimentarias, o suelto y rodado en arenas y placeres. Los mayores yacimientos del mundo se hallan en Nelson y Amherst (Virginia); también los hay notables en Binnental y Disentis (Suiza) y en la región de Kragerö (Noruega). En España es relativamente abundante, existiendo en las arenas de las rías gallegas, en El Espinar, etc.

CASITERITA, $SnO_2$. Cristales de hábito muy diverso, según su origen; son bipiramidales los incluidos en pegmatitas; prismáticos, los filonianos, y aciculares, los formados a bajas temperaturas. Presentan maclas típicas, denominadas *picos de estaño* (fig. 4) (véase lámina A6), y se hallan también como cantos rodados en granos sueltos. Color pardo de colofonia, o negro de hierro; raramente con otra coloración o incoloro. Raya, amarillo de cuero a blanca. Brillo de blenda en las caras lisas, y graso en las fracturas. Opaco, es uniáxico positivo con birrefringencia y refracción fuertes (figura 5).

Es mena de estaño, uno de los primeros metales que el hombre empleó al fabricar utensilios de bronce. La producción mundial de estaño oscila entre 150.000 y 250.000 toneladas anuales, siendo los primeros países productores los Estados Malayos Federados, las Indias Orientales Holandesas y Bolivia. La Casiterita se halla asociada a pegmatitas o a filones neumatolíticos en el llamado *estaño de mina*, cuyo ejemplo nos lo da la «Mina Fabulosa» en Araca (Bolivia) (fig. 6), o bien se encuentra en lavaderos formados por acumulación de aluviones minerales, como en la zona de placeres que abarca una faja de terreno de 1.600 kilómetros de longitud y 190 km. de anchura a lo largo de la península malaya, incluyendo las Indias Orientales Holandesas por el Sur y a Birmania y Tailandia por el Norte, dando la provincia estannífera mayor del mundo. En España existe una zona estannífera importante, que se extiende desde Pontevedra a Cáceres.

**Polimorfismo del $TiO_2$.**

Se presenta en la Naturaleza en tres formas polimorfas: dos tetragonales, Rutilo y Anatasa, y una rómbica, Brookita. Sus estructuras (fig. 7) tienen de común la coordinación senaria de cada átomo metálico, con seis oxígenos a su alrededor, dispuestos en los vértices de un octaedro; en cada una de ellas, la distribución de estos octaedros es diferente.

La estructura del Rutilo se ha descrito al estudiar el mineral. La Anatasa tiene una celda fundamental centrada en el interior, en la que los O están rodeados por tres Ti, siendo la cordinación 6:3. La Brookita tiene los oxígenos dispuestos como si fuera un empaquetado hexagonal compacto, manteniéndose la coordinación 6:3, como en las demás formas polimorfas. En las tres formas, la distancia Ti-O, de 1'9 a 2'0 A, y la distancia O-O, de 2'5 a 3'0 A, permanecen constantes.

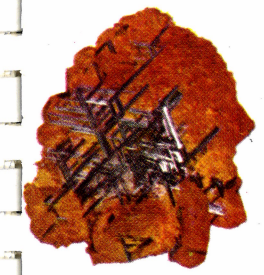


Fig. 1 - Rutilo (agujas reticuladas sobre limonita). Disentis (Suiza)

Fig. 2 - Rutilo en finas agujas dentro de cuarzo (cabellera de Venus). Minas Geraes (Brasil)

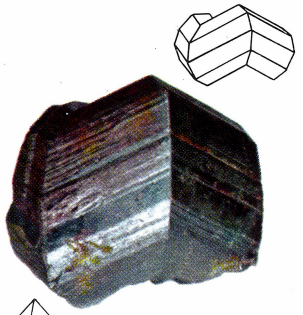


Fig. 3 - Rutilo (macla en codo). Pennsylvania (U.S.A.)

Fig. 5 - Casiterita. Las Hurdes. Cáceres (España)

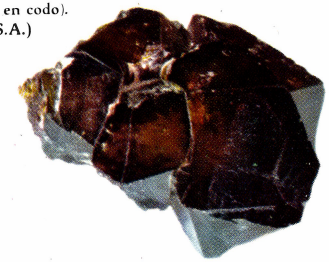


Fig. 6 - Casiterita. Araca (Bolivia).



Fig. 4 - Casiterita (pico de estaño). Lumbrales. Salamanca (España)

## Formas polimorfas de $TiO_2$

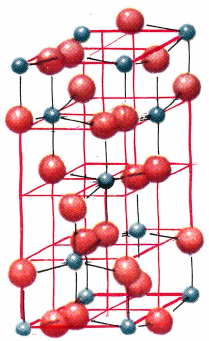


Fig. 7 Estructura de la anatasa.

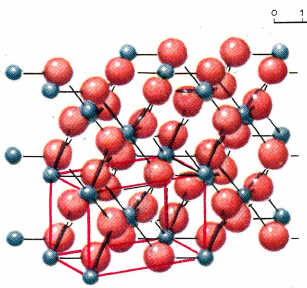


Fig. 8 - Estructura del rutilo.

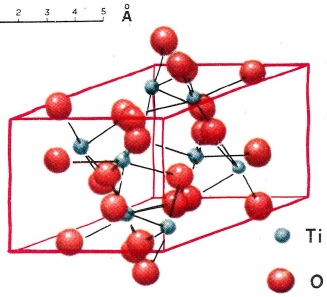



Fig. 9 - Estructura de la brookita.

## HIDRÓXIDOS E HIDRATOS.

Conjunto de minerales dispares, principalmente de aluminio y de hierro, que se transforman en los óxidos respectivos al calentarlos; algunos son verdaderos hidróxidos al poseer sus estructuras grupos OH claramente definidos (Brucita e Hidrargilita); otros tienen hidrogeniones ocupando posiciones de cationes y actuando como tales (diásporo), mientras en algunos de ellos existen dos clases cristalo-químicas de átomos de oxígeno (Lepidocrocita y Bohemita).

### COMPOSICIÓN Y YACIMIENTOS DE BAUXITA.

La Bauxita, constituida por una mezcla de óxidos de aluminio hidratados y que ha sido considerada como especie mineral hasta hace relativamente pocos años, es la única materia prima para la metalurgia del aluminio, siendo, por otra parte, este metal el más abundante en la corteza terrestre.

La Bauxita es un material resultante de la meteorización de feldespatos y feldespatoides, bajo condiciones ambientales excepcionales. Los silicatos alumínico-potásicos pierden en una primera fase el potasio, y a continuación sufren una desilificación, quedando precipitados los hidróxidos alumínico y férrico. Este proceso, que se produce en los trópicos, se conoce como «laterización», y se denomina lateritas a los suelos resultantes; cuando las rocas originarias no contienen hierro o bien éste se moviliza como resultado de reacciones adicionales, queda sólo hidróxido alumínico, que, al consolidarse, forma bauxita. Las reacciones químicas que intervienen en la formación del mineral no se conocen por completo, siendo indispensable, para que ocurran, que exista en la zona un clima tropical o subtropical húmedo.

Los depósitos de Bauxita se presentan: 1) en capas superficiales y aproximadamente horizontales (Guayana británica; Costa del Oro, en África; Surinam, en la Guayana holandesa, fig. 1); 2) en capas interestratificadas, presentando forma de lentejones en el seno de formaciones sedimentarias (Arkansas, en los Estados Unidos de la América del Norte, y en Francia) (fig. 2); 3) en bolsadas o en masas irregulares, como en Istria (Yugoeslavia) (fig. 3), y también en Hungría e Italia.

La composición mineralógica de la bauxita es hoy perfectamente conocida, estando formada por tres minerales: hidrargilita, $Al(OH)_3$, diásporo, AlOOH, y alumogel, $Al_2O_3.xH_2O$.

### Hidróxidos de Aluminio.

HIDRARGILITA, $Al(OH)_3$. Mineral cristalizado en la holoedria monoclínica; se presenta en finas laminillas de apariencia hexagonal. Incoloro, o blanco en diversos tonos, tiene brillo nacarado en las superficies de exfoliación. Su estructura (fig. 4) está constituida por una serie de estratos formados por dos capas de OH en disposición senaria, que aprisionan una capa de átomos de aluminio; cada Al está en medio de seis OH, en coordinación octaédrica con ellos (fig. 4). Esta disposición hace aparecer una exfoliación patente paralela a los estratos.

DIÁSPORO, AlOOH. Cristaliza en la holoedria rómbica, en cristales pequeños y poco frecuentes; generalmente se presenta en agregados hojosos. Exfoliación muy perfecta según el 2.º pinacoide; incoloro, o con tonalidades diversas, tiene brillo nacarado en las superficies de exfoliación; fuerte pleocroísmo y birrefringencia positiva. En su estructura (fig. 5) los oxígenos se disponen según un empaquetado hexagonal compacto y en los espacios vacíos se disponen los átomos de aluminio; se presenta la particularidad de que los hidrogeniones están situados entre dos oxígenos, actuando como verdaderos cationes.

ALUMOGEL, $Al_2O_3.xH_2O$. Es el gel del hidróxido alumínico; con frecuencia se presenta en forma oolítica o dejando ver en su estructura la del material originario. Cuando puro, completamente isótropo, pero, en general, con gran cantidad de impurezas, que le comunican color de ladrillo.

### Hidróxidos de Hierro.

De acuerdo con los diferentes grados de hidratación, se distinguieron antiguamente un gran número de hidróxidos de hierro. Actualmente, el análisis roentgenográfico ha demostrado que sólo existen dos hidróxidos de hierro bien cristalizados y definidos: hierro acicular, FeOOH, y mica rubí, FeOOH. Ambos cristalizan en la holoedría rómbica, presentándose el primero en cristales aciculares, prismáticos de color diverso y brillo variable, y el segundo, en tabletas delgadas, agrupadas en rosetas. De índice de refracción elevado, el segundo tiene una birrefringencia enorme.

Además de estos dos minerales, hay que considerar la *Limonita*, que en la mayoría de los casos es gel de hierro del mismo tipo que el alumogel, pero que tiende a pasar a uno de los dos minerales anteriores, principalmente a hierro acicular. Se presenta en formas pseudomórficas (fig. 6), botrioidales (fig. 7), etc.

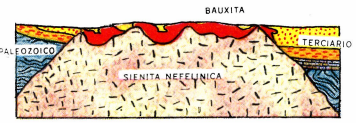



Fig. 1 - Esquema de un yacimiento de bauxita (Ghana)

Fig. 2 - Capas de bauxita de Arkansas (U. S. A.)

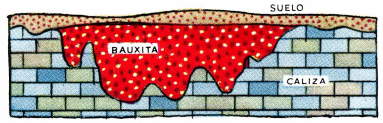



Fig. 3 - Bolsada de bauxita de Istria. (Yugoslavia)

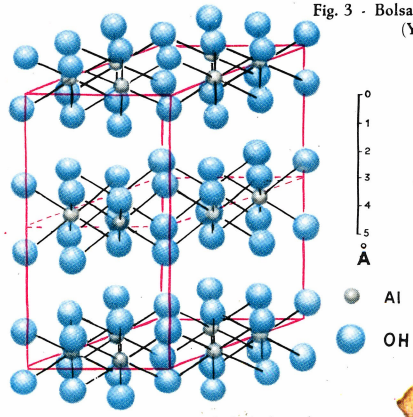



Fig. 4 - Estructura de la hidrargilita

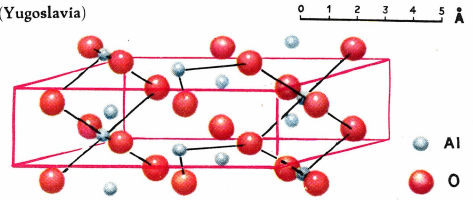



Fig. 5 - Estructura del diásporo

Fig. 6 - Limonita (seudomórfica de pirita). Montjuich - Barcelona (España)

Fig. 7 - Limonita botrioide. Galicia (España)

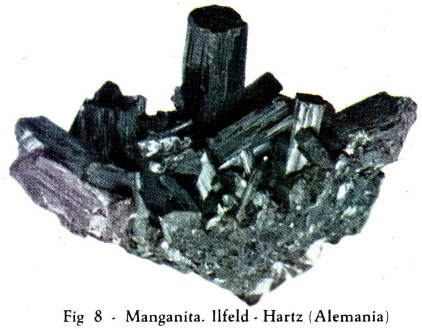


Fig 8 - Manganita. Ilfeld - Hartz (Alemania)

## Clase V. OXISALES CON EL OXÍGENO EN COORDINACION TERNARIA

Los elementos B, C, N, forman grupos discretos $BO_3$, $CO_3$, $NO_3$, en los que los oxígenos ocupan los vértices de un triángulo equilátero, y están unidos fuertemente al elemento que actúa con tres, cuatro y cinco valencias positivas, respectivamente. La forma similar de tales grupos determina semejanzas entre compuestos químicamente muy distintos, dándose en esta clase notables casos de isomorfismo e isotipismo.

### SUBCLASE: BORATOS.

Minerales con grupos $BO_3$ en su estructura; son sales del ácido bórico. Una mínima parte proceden de yacimientos formados a temperaturas elevadas, son los boratos anhidros; la gran mayoría se han originado por deposición en lagos salinos, siendo los depósitos económicamente beneficiables los que se producen por deposición en las orillas y fondo de los lagos de boratos, como los de Searles y Owens y Borax Lake, en California. Las costras de boratos, resultado de la total desecación del lago, tienen su más claro ejemplo en el Valle de la Muerte, en California, cuyos yacimientos fueron explotados durante muchos años, pero hoy en día, están completamente abandonados. También existen costras de boratos en Chile, Bolivia y Argentina. Los yacimientos de estos minerales, al igual como los de todas las sales solubles se producen en condiciones climáticas extremas, estando situados en zonas desérticas o muy áridas.

La producción mundial de boro asciende a 400.000 toneladas, y el primer país productor, los Estados Unidos, casi producen el 93 % del total. Los principales yacimientos de boratos son los depósitos estratificados próximos a Kramer y al lago Searles en California; los primeros, cercanos al desierto Mojave, son una cuenca de 1'5 Km. de ancho y 6'5 Km. de longitud, donde el mineral se halla a profundidades entre 110 m. y 300 m. en capas de 25 a 35 m. de espesor, mezclado con arcillas y esquistos, encontrándose dentro de la masa, lentejones de kernita o bórax completamente puros. En Italia, en la región de Toscana, las emanaciones volcánicas llevan gran cantidad de ácido bórico y boratos de calcio y de magnesio que se depositan alrededor de las fumarolas y termas minerales; la Sassolina italiana ha sido la fuente del ácido bórico europeo durante varios años.

Los principales minerales de bórax son: *Bórax*, $B_4O_7Na_2.10H_2O$; *Colemanita*, $B_6O_{11}Ca_2.5H_2O$; *Kernita*, $B_4O_7Na_2.4H_2O$, y *Boracita*, $B_{14}O_{26}Cl_2Mg_6$.

### SUBCLASE: NITRATOS.

Contienen grupos $NO_3$ en su estructura: son sales del ácido nítrico. Minerales muy similares a los carbonatos, aunque menos estables debido al aumento de polaridad de los átomos de oxígeno que rodean al N pentavalente; solubles en agua, se encuentran pocas especies como compuestos naturales, y éstas son raras, excepto el nitro sódico, que es abundante en las regiones áridas del norte de Chile.

NITRO SÓDICO, $NO_3Na$. Cristalizado en la holoedria romboédrica, es de estructura completamente análoga a la de la Calcita; en estado natural sólo se presenta en agregados cristalinos y en granos. Tiene exfoliación perfecta según la cara del romboedro. Incoloro o ligeramente teñido, tiene brillo vítreo. Ópticamente es uniáxico negativo. Es algo higroscópico y muy soluble en agua.

Se presenta en depósitos originados por evaporación de lagos salinos de nitratos. El único yacimiento beneficiable de Nitro se encuentra en la parte septentrional de Chile, en los desiertos de Atacama, Tarapacá y Antofagasta, formando una franja que corre paralela a la cordillera de los Andes a lo largo de 600 Km., penetrando hacia el interior entre 20 y 150 Km.

Al material, que contiene hasta 25-30% de nitro puro, se le denomina *caliche* y a los depósitos que afloran en la superficie, *calicheras*. Está mezclado con sal gema, yeso y thenardita. El origen de estos depósitos no está bien definido, pero están íntimamente relacionados con las rocas volcánicas que se hallan a niveles superiores.

Los estratos son muy importantes como fertilizantes, utilizando la agricultura el 85 % de la producción total, y el 15 % restante lo consume la industria química. Actualmente se obtiene una parte muy elevada de nitratos sintéticamente a partir del N atmosférico, pero hasta hace pocos años la totalidad salía de los yacimientos chilenos.

*Atlas de* MINERALOGIA
POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS
CLASE V · OXISALES CON EL OXIGENO EN COORDINACION TERNARIA
Serie D Num. 1

## Subclase: Boratos

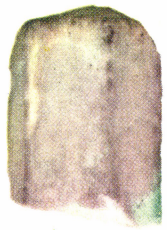


Fig. 1 - Borax (Tibet)

Fig. 2 - Colemanita. California (U. S. A.)

Fig. 3 - Boronatrocalcita. Tucuman (Argentina)

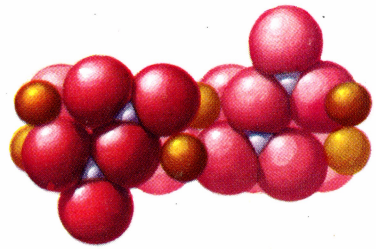


Fig. 4 - Estructura de un borato calcico.

## Subclase: Nitratos

Fig. 5 - Nitratina (nitrato de Chile). Iquique (Chile)

## SUBCLASE CARBONATOS.

Minerales de aspecto lapídeo, sin coloración propia, presentándose blancos, incoloros o ligeramente teñidos, excepto si contienen Co y Cu. Dureza inferior a 5; se reconocen fácilmente porque desprenden $CO_2$ con efervescencia cuando se les trata con un ácido fuerte.

### Grupo Calcita-Aragonito.

Responden a la fórmula $CO_3R$, siendo R un elemento metálico divalente, Ca, Mg, Zn, Mn, Fe, Co, Sr, Ba, Pb. Forman dos series isomorfas: la de la Calcita, cristalizada en el sistema romboédrico, y la del Aragonito, que lo hace en la singonía rómbica, siendo curioso observar que sólo se presenta polimorfismo para el $CO_3Ca$. En los restantes, el catión determina la estructura del mineral, siendo romboédricos e isomorfos de la calcita los que tienen catión pequeño (Fe, Mg, Zn, Mn, Co) y rómbicos e isomorfos de aragonito los que lo tienen grande (Sr, Ba, Pb). El tamaño del ion calcio satisface simultáneamente en las condiciones ambientales los dos tipos estructurales, motivo por el cual se presenta el diformismo indicado.

Ambas series se reconocen por su morfología y peso específico, pero en los agregados granudos o irregulares se pueden identificar por el ensayo de Meigen, que consiste en hervir el polvo con disolución de nitrato cobaltoso, tiñéndose los rómbicos de color lila, mientras los romboédricos permanecen blancos.

*Serie de la Calcita*

Calcita, $CO_3Ca$; Magnesita, $CO_3Mg$; Dolomita, $CO_3$ (Ca, M ); Smithsonita, $CO_3Zn$; Siderita, $Co_3Fe$ (fig. 8); Dialogita (Rodocrocita), $CO_3Mn$ (fig. 9); Esferocobaltita, $CO_3Co$.

*Serie del Aragonito*

Aragonito, $CO_3Ca$; Witherita, $CO_3Ba$; Estroncianita, $CO_3Sr$; Cerusita, $CO_3Pb$.

### Serie de la Calcita.

Minerales miscibles en todas proporciones, presentan un ejemplo típico de isomorfismo. Cristalizan en la holoedria romboédrica, y su estructura tiene como celda fundamental un romboedro agudo de ángulo igual a 46° 07'. Poseen exfoliación perfecta según las caras de un romboedro obtuso de ángulo 101° 55'; las aristas de este poliedro de exfoliación se han tomado durante largo tiempo como ejes cristalográficos, refiriendo la orientación de los cristales de calcita a ellos.

La celda múltiple de caras paralelas a los planos de exfoliación es igual a una red tipo cloruro sódico en la que se hubiese situado un eje ternario vertical y se hubiese deformado homogéneamente hasta que el ángulo de 90° hubiese pasado a 101° 55'. Los iones de calcio sustituirían a los de sodio y los grupos $CO_3$= a los Cl−, dando dos redes de caras centradas con el origen desplazado a la mitad de la arista.

La celda fundamental es un romboedro agudo con iones calcio en los vértices y dos grupos $CO_3$= situados en el interior de manera que el plano que contiene a los oxígenos corte perpendicularmente al eje ternario (fig. 1).

El grupo $CO_3$= consiste en un átomo de carbono que tiene tres oxígenos tangentes a él, situados en los vértices de un triángulo equilátero, yaciendo todos ellos sobre un mismo plano.

CALCITA, $CO_3Ca$. Se presenta en magníficos cristales implantados, muy ricos en facetas, llegando a formar más de mil combinaciones; generalmente de hábito claramente romboédrico (fig. 2), algunas veces escalenoédrico (figs. 3 y 4), aunque también se halla en forma de prismas y de cristales de aspecto lenticular. Forma maclas de leyes muy distintas (fig. 5), siendo las más frecuentes las de complemento cuyo plano de macla es el pinacoide básico, y la de dos romboedros según una de sus caras, que puede llegar a ser polisintética si los cristales son laminares.

Incoloro, comúnmente blanco, tiene brillo vítreo característico; opaco en las variedades de espato calizo, es perfectamente transparente en los cristales de espato de Islandia. Relativamente blando, se raya con la navaja, pero no con la uña. Ópticamente es uniáxico negativo, con birrefringencia muy fuerte (fig. 6). Se descompone hacia los 900°, liberándose $CO_2$ y quedando OCa.

Es mineral universalmente difundido, formando rocas sedimentarias que cubren grandes extensiones de la corteza terrestre. Se presenta en diversas variedades: *espato doble de Islandia*, cristales muy hermosos en geodas o drusas alpinas o filonianas; *caliza*, variedad finamente cristalina de textura granuda, dando el *mármol*; *caliza fibrosa*, en agregados fibrosos raros, como el *espato satinado*; *caliza compacta*, de toda suerte de coloraciones, que se emplea como piedra ornamental; etc.

Abunda extraordinariamente en España, en todas sus variedades.


# Atlas de MINERALOGIA

POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS

CLASE V · OXISALES CON EL OXIGENO EN COORDINACION TERNARIA

Serie D Num. 2


## Subclase: carbonatos.

### Grupo calcita-aragonito

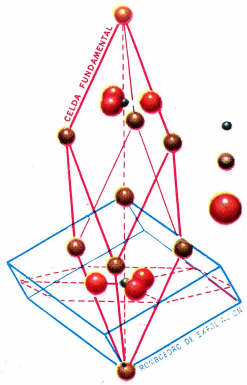



Fig. 3 - Cristal escalenoédrico de calcita. Illinois (U. S. A.)

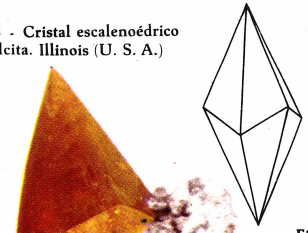


Fig. 6 - Calcita, var. espato de Islandia.

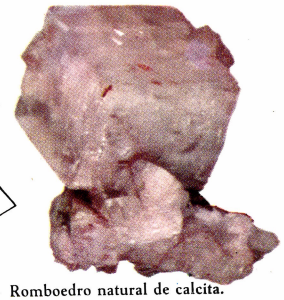


Fig. 2 - Romboedro natural de calcita.

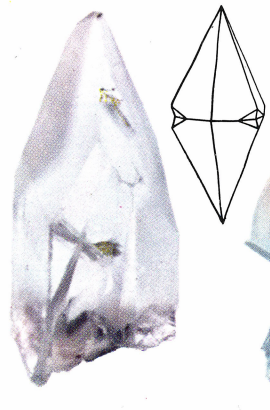


Fig. 4 Cristal escalenoédrico de calcita. Frizington Cumberland (Inglaterra)

Fig. 5 - Calcita (macla). Chihuahua (México)

Fig. 7 - Dolomita sobre magnesita. Navarra (Espana)

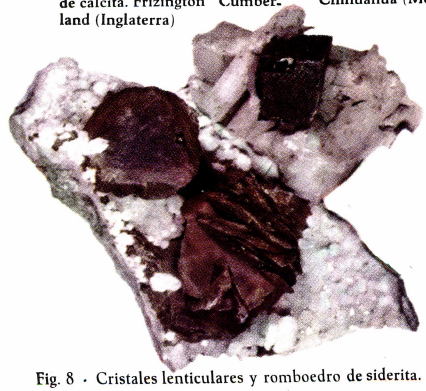


Fig. 8 - Cristales lenticulares y romboedro de siderita. Cornwall (Inglaterra)

Fig. 9 - Dialogita. Butte-Montana (U. S. A.)

**Serie del Aragonito.**

Minerales cristalizados en la holoedria rómbica, con formas pseudohexagonales debido a su estructura. En ella se disponen los iones calcio según un empaquetado hexagonal compacto, deformado por compresión a lo largo del eje senario; entre ellos y en coordinación senaria se sitúan los grupos $CO_3$, de modo que cada oxígeno es tangente a tres iones calcio (fig. 1).

Esta estructura tiene un estrecho parentesco con la de la calcita, ya que, siendo ésta un empaquetado cúbico compacto de iones calcio deformado según el eje ternario, las relaciones entre ambas serán casi las mismas que existen entre los empaquetados compactos cúbico y hexagonal. Pero, además, hay otra diferencia entre ellos; en la calcita cada oxígeno del grupo $CO_3$ es tangente a dos iones calcio situados en un plano superior e inferior, mientras que en el aragonito lo es a tres calciones, dos de ellos dispuestos en un plano superior y uno en uno inferior (fig. 2). Puede observarse que las posiciones de los cationes tienen mayor espacio en el caso del aragonito que en el de la calcita, lo cual explica que los carbonatos de metales de radio iónico grande cristalicen en la estructura del aragonito (alcalino-térreos), mientras que las de radio iónico mediano y pequeño lo hagan en la de la calcita.

Los minerales de esta serie, principalmente el aragonito, se presentan en maclas múltiples que adquieren pseudosimetría hexagonal, las llamadas «torrecicas de Aragón». Esta falsa simetría es debida a que los ángulos que forman las caras del prisma vertical son casi de 120°, y, cuando se maclan tres individuos, dan un contorno casi hexagonal; la explicación de esta macla la proporciona la estructura del mineral (fig. 3).

ARAGONITO, $CO_3Ca$. Es la forma rómbica del carbonato cálcico. Los cristales no maclados de este mineral son raros, presentándose con hábito prismático alargado o tabular, con combinación del prisma vertical, el de 1.ª especie y el 2.º pinacoide, dando generalmente formas pseudohexagonales (fig. 4). Maclas múltiples muy frecuentes, ya sea de entrecruzamiento, ya de yuxtaposición, pudiendo estar en zigzag o cíclicas (véase la lámina de agregados cristalinos) (figuras 5 y 6).

Se le halla en masas informes, en agregados bacilares, radiados, fibrosos y en formas esferoidales del tamaño de guisantes (pisolitas); es el material constituyente de las estructuras estalactíticas y estalacmíticas (fig. 7). A veces, pseudomórfico de yeso y de calcita.

Incoloro o blanco, aunque también teñido de diversos colores; brillo vítreo; transparente a turbio. Ópticamente, biáxico negativo, con birrefringencia fuerte y refracción media.

Mineral menos frecuente que la calcita, aunque de difusión mundial, no forma rocas, y raramente se le halla en los filones metalíferos.

WITERITA, $CO_3Ba$. Mineral en todo semejante al aragonito, forma una macla múltiple de tres individuos que semeja una bipirámide hexagonal. Se le encuentra en los filones de galena de las calizas carbonosas de Inglaterra (fig. 8).

CERUSITA, $CO_3Pb$. Generalmente, cristales de hábito piramidal o tabular, en maclas cíclicas de tres individuos, dando un conjunto en forma de estrella, típico de este mineral. Se presenta en la zona de meteorización de los yacimientos de galena, siendo, en algunas localidades, mena importante de plomo (fig. 9).

**Grupo de Carbonatos Básico.**

AZURITA, $(CO_3)_2/(OH_2)\ Cu_3$. Se presenta en bellísimos cristales de color azul de añil típico, ricos en facetas, de hábito prismático, pertenecientes a la holoedria monoclínica. También en masas informes, compactas y a menudo en eflorescencias de color azul más claro. Raya azul claro. Brillo vítreo, translúcido. Ópticamente, biáxico positivo, con birrefringencia media y refracción alta (fig. 10).

Mineral más raro que la malaquita, se transforma en ella por adición de una molécula de agua y pérdida de una de $CO_2$. Citaremos la mina Barraburra, cerca de Adelaide (Australia), y Chessy, cerca de Lyon (Francia), como localidades productoras de cristales buenos. Es curioso que se utilizara en la Edad Media como pigmento.

MALAQUITA, $(CO_3/(OH)_2)Cu_2$. Mal cristalizada en general, se presenta en formas prismáticas o tabulares pertenecientes a la holoedria monoclínica, o en masas informes, estalactíticas, arriñonadas, etcétera. A menudo, pseudomórfico de minerales de cobre sulfurados y oxidados. Color verde negruzco y brillo vítreo; los agregados suelen tener color verde de esmeralda y brillo sedoso o mate; raya verde claro. Translúcido u opaco. Ópticamente, biáxico negativo, con pleocroísmo intenso. Es mena de cobre frecuente e indica la zona de oxidación de los yacimientos de minerales de cobre. Se hallan bellísimos cristales en la «Copper-Queen Mine», de Arizona (Estados Unidos de la América del Norte), y en las localidades citadas en la azurita.


# Atlas de MINERALOGIA

POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS

CLASE V · OXISALES CON EL OXIGENO EN COORDINACION TERNARIA

Serie D Num. 3

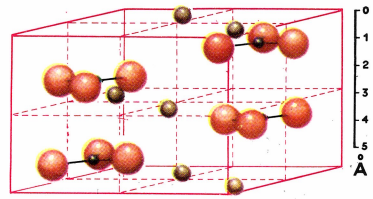




Fig. 1 - Estructura del aragonito

Fig. 2 - Posición del Ca y del $CO_3$ en la calcita (I) y en el aragonito (II)

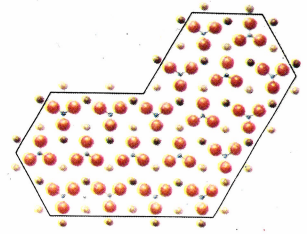


Fig. 3 - Detalle de la macla

Fig. 4 - Aragonito. Cumberland (Inglaterra)

Fig. 5 - Aragonito (macla) Guadalajara (España)

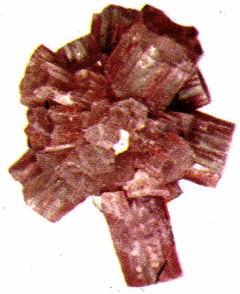


Fig. 6 - Aragonito (agregado en piña) Guadalajara (España)

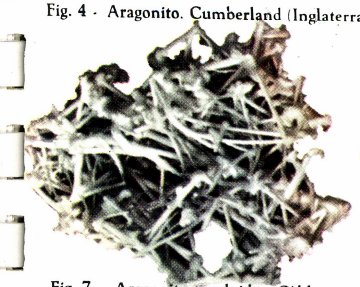


Fig. 7 - Aragonito coraloideo. Saldacano Bilbao (España)

Fig. 8 - Witerita. Cumberland (Inglaterra)

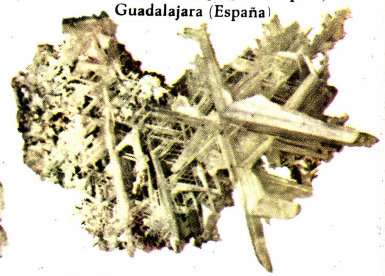


Fig. 9 - Cerusita. Tiger - Arizona (U. S. A.)

Grupo de carbonatos básicos

Fig. 11 - Malaquita concrecionada. Burra-Burra (Australia)

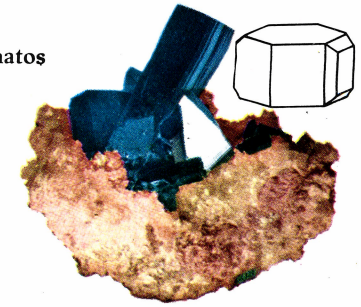


Fig. 10 - Azurita (sobre dolomita). Tsumeb (SO. Africa)

## Clase VI. OXISALES CON EL OXÍGENO EN COORDINACIÓN CUATERNARIA

Minerales de aspecto no metálico, escasa densidad y birrefringencia baja; tienen poca dureza, que es menor en las especies que contienen oxidrilos o agua. El anión está formado por un tetraedro de oxígenos con un átomo de S, Cr, Mo o W en su interior; tiene disposición típicamente tetraédrica, que se mantiene en todas las sales inorgánicas de este tipo, tanto naturales como artificiales. Se agrupan atendiendo al tamaño del catión y a la cantidad de agua que llevan.

### SUBCLASE: SULFATOS ANHIDROS.

ANHIDRITA, $SO_4Ca$. A diferencia del carbonato cálcico que cristaliza en dos formas polimorfas, el sulfato cálcico lo efectúa en una forma estructural única perteneciente a la holoedria rómbica y que es distinta de los sulfatos de los restantes metales alcalino-térreos. En su estructura cada ion calcio está rodeado por ocho oxígenos vecinos pertenecientes a seis grupos $SO_4$ distintos, mientras cada oxígeno coordina simultáneamente con dos iones calcio (fig. 1).

Cristales muy raros con hábito cuboide por predominio de los tres pinacoides, como los que se hallan incluidos en Stassfurt. Generalmente se presenta en agregados granudos, compactos y a veces fibrosos. Se exfolia con facilidad según los tres pinacoides, dando un sólido semejante al cubo.

Incoloro o blanco cuando puro, puede teñirse de azul claro, gris azulado o azul obscuro. Tiene brillo vítreo y es transparente. Ópticamente es biáxico positivo, pudiendo observarse la figura de interferencia en láminas de exfoliación paralelas al 1.er pinacoide.

Se forma en cuencas salinas por precipitación, alternando con las capas de sal común, como en la cuenca potásica de Stassfurt; a veces en los filones hidrotermales, como en Bradenmine (Chile). En España es abundante, hallándose un banco de gran espesor en la Sierra de los Angeles (Huelva).

### Grupo de la Baritina.

Serie isomórfica formada por los sulfatos de bario, estroncio, y plomo como términos destacados, existiendo prácticamente todas las combinaciones intermedias. Su estructura, en la que cristalizan un gran número de minerales y compuestos inorgánicos, pertenece a la holoedria rómbica y tiene la particularidad de que el catión está en coordinación dodecaédrica, o sea rodeado de doce oxígenos pertenecientes a siete diferentes grupos $SO_4$ (fig. 2).

BARITINA, $SO_4Ba$. Cristales muy hermosos y ricos en facetas, aislados o implantados en drusas, de hábito tabular, aunque éste puede variar ampliamente (fig. 3). Es típico de este mineral el agregado holoáxico en forma de libro abierto (figs. 4 y 5) (véase la lámina A6).

Exfoliación perfecta según el 3.er pinacoide, observándose las líneas de exfoliación en los cristales. Incoloro o blanco, puede estar coloreado por impurezas; tiene brillo vítreo y es transparente. Ópticamente, biáxico positivo.

Es mineral de gran difusión, sobre todo en los filones acompañando a los sulfuros metálicos. También se halla en depósitos concrecionados y nodulosos, como «rosa de baritina», de formación sedimentaria. Es muy abundante en España, siendo famosos los cristales de Bellmunt (Tarragona) y de Caldas de Malavella (Gerona).

CELESTINA, $SO_4Sr$. Cristales muy ricos en facetas, de hábito generalmente prismático, casi siempre implantados, dispuestos en grupos y drusas; son de gran belleza los que se hallan en Girgenti (Sicilia) (fig. 6). Raramente en maclas, se presentan en forma de agregados granudos, espáticos y en fosilizaciones.

Incoloros o blancos, pueden colorearse de amarillo, azul y aun rojizo o verde. Brillo vítreo a nacarado, tiene propiedades ópticas igual que la baritina. Exfoliación perfecta según el 3.er pinacoide.

Se le halla en filones hidrotermales y más frecuentemente acompañando al azufre, yeso o calcita. En España se le encuentra en cristales semejantes a los de Girgenti, en Montellano (Sevilla).

ANGLESITA, $SO_4Pb$. Hermosos cristales bien desarrollados con numerosas facetas, de hábito prismático o piramidal; a menudo en forma de costras sobre la Galena (fig. 7). Incoloro y transparente, puede presentarse turbio y con diferentes coloraciones. Brillo diamantino o craso. Exfoliación manifiesta según el 3.er pinacoide y el prisma vertical.

Se forma por oxidación de la galena y se encuentra en los techos de muchos yacimientos de este mineral. Puede beneficiarse como mena de plomo cuando está en suficiente abundancia.



## Subclase: sulfatos anhidros

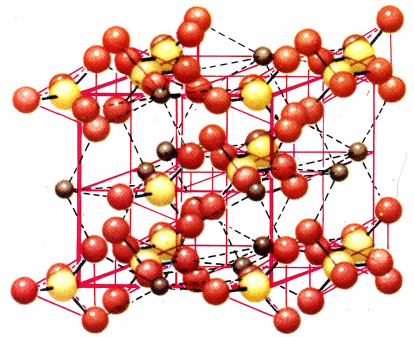



Fig. 1 - Estructura de la anhidrita

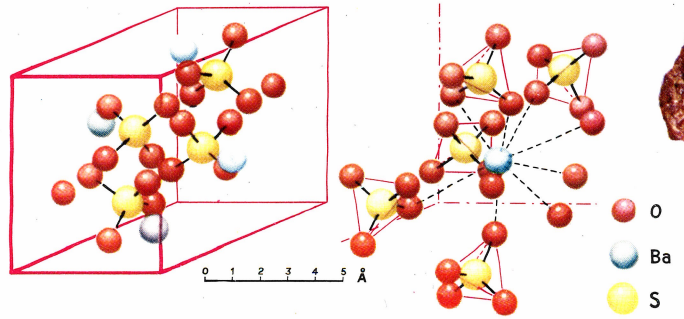



Fig. 2 - Estructura de la baritina : a) Detalle de la estructura
b) Coordinación del bario con los oxígenos

Grupo de la baritina

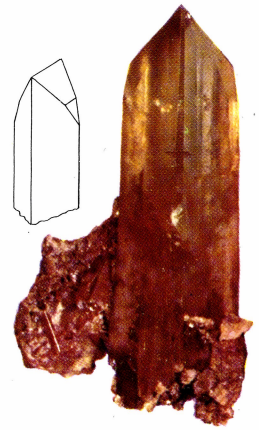


Fig. 3 - Baritina. Cumberland (Inglaterra)

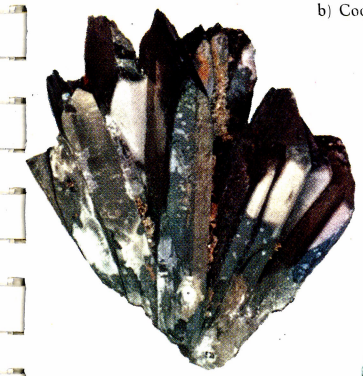


Fig. 4 - Baritina. (agregado en libro) Bellmunt -Tarragona (España)

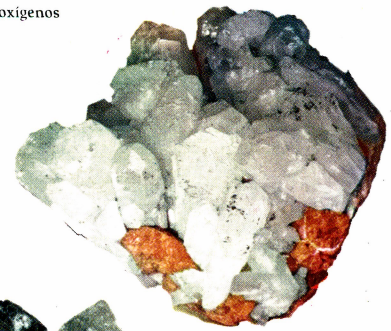


Fig. 5 - Celestina con azufre. Girgentis - Sicilia (Italia)

Fig. 6 - Anglesita (cristal sobre galena). Túnez

## SUBCLASE: SULFATOS HIDRATADOS.

### Grupo de los Vitriolos.

Se reúnen en este grupo un conjunto de minerales que antiguamente habían recibido el nombre de vitriolos y que son sulfatos de Mg, Fe, Cu, Zn, No, Co y Mn. Pueden separarse en tres subgrupos: los triclínicos con 5 moléculas de agua, como la Calcantita, los rómbicos con 7 moléculas de agua, como la Epsomita, y los monoclínicos con la misma cantidad de $H_2O$, como la Melanterita.

CALCANTITA, $SO_4Cu.5H_2O$. Se presenta raramente en cristales pequeños y mal conformados; casi siempre estalactítico y en eflorescencias. De color azul, se decolora por pérdida de las moléculas de agua, volviéndose azul de nuevo al hidratarse. Brillo vítreo, translúcido. Es soluble en agua y tiene sabor repulsivo. Producto de alteración de la calcopirita.

EPSOMITA, $SO_4Mg.5H_2O$. También denominada sal amarga o sal de La Higuera, se ha utilizado durante largos años en Medicina como purgante, habiendo caído en desuso por su sabor amargo; actualmente se usa en Veterinaria. Cristaliza en la clase enantiomórfica rómbica, en cristales típicamente biesfenoidales que por el ángulo que forman las caras de prisma vertical, casi de 90°, parecen tetragonales. Se presenta en finas agujas (fig. 1), en eflorescencias y terroso.

Incoloro o blanco, no es higroscópico a diferencia de otras sales de Mg. Ópticamente biáxico negativo. Tiene exfoliación perfecta según el 2.° pinacoide.

Producto de hidratación de la Kieserita, $SO_4Mg.H_2O$, en los yacimientos salinos. Es abundantísimo en las regiones esteparias. Cabe citar la localidad de Epsom (Inglaterra), de donde ha tomado el nombre.

MELANTERITA, $SO_4Fe.7H_2O$. Cristales naturales raros, a menudo de hábito romboédrico, de color verde claro, que pasa a *amarillo por oxidación; brillo vítreo*, transparente a translúcido. Se forma en las minas sobre pirita y magnetita (figura 2).

### Grupo del Yeso.

La estructura del Yeso, $SO_4Ca.2H_2O$, según Wooster, explica claramente las propiedades de este mineral; es en esencia una estructura en capas, paralelas al 2.° pinacoide, es decir, perpendiculares al eje binario. Dos capas de grupos $SO_4$ están unidas entre sí fuertemente por iones calcio formando un estrato, y estos estratos están a su vez débilmente unidos por una capa de moléculas de agua, cada una de las cuales enlaza a un ion calcio con un oxígeno de su mismo estrato y con otro oxígeno del estrato vecino. Estos últimos enlaces son muy débiles y son causantes de la fácil exfoliación del yeso según el 2.° pinacoide (fig. 3).

Se presenta en cristales de hábito muy diverso, generalmente prismáticos, gruesamente tabulares o lenticulares con fuerte curvatura de caras y aristas (figura 4). Maclas muy frecuentes según dos leyes principales, la *macla en flecha* (figuras 5 y 6) y la *macla en lanza*, en las que los gemelos pueden estar unidos por un plano (macla de yuxtaposición) o bien penetrar uno detro de otro (macla de entrecruzamiento). Véase la lámina de agregados cristalinos. Informe en agregados fibrosos (yeso fibroso) (fig. 7), en escamas (yeso espumoso) o finamente granudo (alabastro).

Incoloro o blanco con brillo nacarado en el 2.° pinacoide y vítreo en las demás caras, puede ser transparente u opaco. Ópticamente biáxico positivo. Mal conductor del calor. Es mineral blando, siendo posible rayarlo con la uña.

Se forma a partir de su disolución acuosa y por hidratación de la anhidrita con un aumento del 60 % en volumen. A temperaturas superiores a 60° se separa yeso de la disolución y a temperaturas inferiores anhidrita. Se le halla en casi todos los yacimientos salinos, ya que es producto precipitado en la fase inicial de la concentración.

En España se presenta en casi todos los terrenos, siendo particularmente abundante en las margas rojizas del Triásico. Es inacabable la lista de localidades, siendo como la Calcita y el Cuarzo, un mineral de difusión mundial.

---

*(Continuación de la TARJETA E5.)*

*Es la más abundante de todas las micas*, siendo elemento esencial de los granitos junto con la Ortosa y el Cuarzo y de los gneis y micacitas. Se altera con más facilidad que la Moscovita, motivo por el cual no es frecuente en los sedimentos.

*Atlas de* MINERALOGIA
POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS
CLASE VI · OXISALES CON EL OXIGENO EN COORDINACION CUATERNARIA
Serie D Num. 5

# Subclase: sulfatos hidratados.

## Grupo de los vitriolos

Fig. 1 - Epsomita. Calatayud-Zaragoza (España).

Fig. 2 - Melanterita, var. pisanita. Riotinto Huelva (España).

## Grupo del yeso

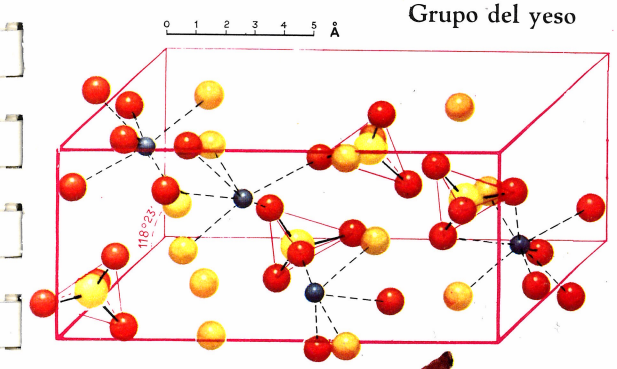



Fig. 3 - Estructura del yeso.

Fig. 4 - Cristal tabular de yeso. Mahoning Ohio (U. S. A.)

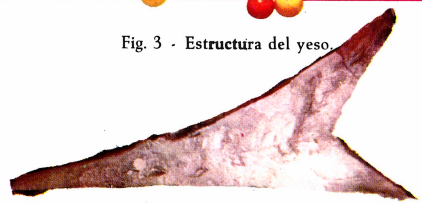


Fig. 5 - Yeso (macla en flecha). Palencia (España)

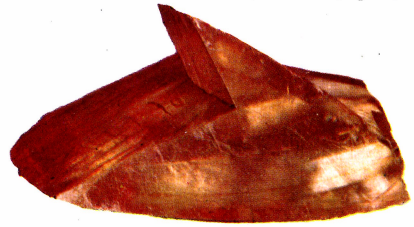


Fig. 6 - Yeso (macla en flecha). Girgentis Sicilia (Italia)

Fig. 7 - Yeso (flor del desierto). S. Dakota Oklahoma (U. S. A.)

## SUBCLASE: CROMATOS.

Minerales cuyo anión es el $CrO_4$, de forma tetraédrica semejante al de los sulfatos; pueden considerarse como sales del ácido crómico.

CROCOITA, $CrO_4Pb$. Cristales pertenecientes a la holoedria monoclínica, de hermoso color rojo con tintes amarillentos, reunidos en drusas, formados por agujas o prismas alargados con abundantes formas sencillas. Se presenta informe y en pátinas.

De brillo graso semidiamantino, es translúcido, con raya anaranjada. Ópticamente biáxico positivo, tiene birrefringencia muy fuerte. Se exfolia bastante bien según el prisma vertical; es blando, rayándose con la uña fácilmente.

Es mineral raro, que se fórma por el encuentro de disoluciones cromíferas con productos de oxidación de la galena. Se encuentran bellos ejemplares en Congonhas do Campo y Goyabeira (Brasil) y en Dundas-district (Tasmania) (figura 1).

## SUBCLASE: MOLIBDATOS Y WOLFRAMATOS.

Se reúnen en esta clase una serie de minerales que químicamente son sales anhidras de los ácidos molíbdico y wolfrámico. Comprenden dos series, la de la Wolframita, monoclínica, formada por las sales de Fe y Mn, y la de la Scheelita, tetragonal, con las de Ca y Pb.

### Serie de la Wolframita.

Forma una serie isomorfa con todos los términos intermedios entre la *Ferberita*, $WO_4Fe$, y la *Hübnerita*, $WO_4Mn$, términos extremos que raramente se hallan puros. A los minerales de esta serie se les denomina *Wolframita*, pudiendo contener cantidades de hierro que van desde 0 % a 100 % y de manganeso que oscilan de 100 % a 0 %.

Cristalizan en la holoedria monoclínica, en grandes cristales de hábito tabular o prismático; maclas frecuentes según el 1.er pinacoide. Se presenta en masas y agregados radiados, a menudo pseudomórfico de Scheelita.

De color pardo obscuro a negro y brillo metálico, con raya pardo-amarillenta o pardo-obscura, tiene exfoliación perfecta según el 2.º pinacoide. Cuanta mayor cantidad de Fe contiene, más obscura es y más opaca. En polvo fino se han determinado las propiedades ópticas, siendo biáxico positivo, con refracción elevada. A veces es débilmente magnético.

Es mena importante de Wolframio; se presenta universalmente asociada a las rocas graníticas, junto con cuarzo, apatito, turmalina, fluorita, etc. Se la halla en muchas minas de Bolivia en forma de finas agujas, en los yacimientos estaníferos de los Estados Malayos, en Brasil, etcétera; es de carácter extraordinario el yacimiento de Wolframita con Galena de Neudorf, en el Harz. En España existe en mayor o menor proporción en muchas localidades, siendo digna de mención la zona que arranca de Galicia y penetra en Portugal (fig. 2).

### Serie de la Scheelita.

Minerales cristalizados en la clase paramórfica tetragonal, forman una serie isomorfa notable en su morfología por las caras de prisma y bipirámide de 3.er orden que presenta; su estructura (fig. 3) tiene grupos $WO_4$ tetraédricos semejantes al de los sulfatos.

SCHEELITA, $WO_4Ca$. Cristales de hábito piramidal, casi siempre aislados, incluidos o implantados. Algunas veces maclas de complemento que, al ser de entrecruzamiento, semejan un cristal sencillo. Como costras cristalinas sobre el cuarzo y pseudomórfico de Wolframita.

Color blanco grisáceo con tintes amarillo y pardo, brillo graso, translúcido. Ópticamente uniáxico positivo. Se exfolia con facilidad según la cara de bipirámide de 2.º orden; no se raya con la uña, pero sí con el cuchillo.

Se forma en condiciones semejantes a las de la Wolframita cuando existe un exceso de calcio. Se encuentran cristales de gran peso en Natas-Mine y en Omaruro (Africa). En España en las mismas localidades que la Wolframita (fig. 4).

WULFENITA, $MoO_4Pb$. Cristaliza en la tetartoedria tetragonal, en cristales piramidales, prismáticos cortos o en finas tabletas; el desarrollo de algunos cristales es típicamente tetartoédrico con pirámides y formas de 3.er orden. Se le encuentra en masas, costras cristalinas y pseudomórfico de galena.

Hermoso color amarillo de miel o de cera, con brillo diamantino, es transparente o translúcido; en casos raros tiene un bello color anaranjado. Ópticamente uniáxico negativo, con índices de refracción elevados y birrefringencia media. Exfoliación según la cara de pirámide de 2.º orden; más blando que la Scheelita, se puede rayar con la uña.

Se forma en la zona de oxidación de los yacimientos de Galena sustituyendo a la Calcita. En Hamburg-Mine (Arizona) se hallan cristales tabulares muy tenues (fig. 5).


# Atlas de MINERALOGIA

POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS

CLASE VI · OXISALES CON EL OXIGENO EN COORDINACION CUATERNARIA

Serie D Num. 6


## Subclase: cromatos.

Fig. 1 - Crocoíta. Dundas (Tasmania).

## Subclase: molibdatos y wolframatos.

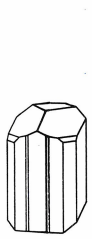


Fig. 2 - Wolframita con ankerita. Silvares (Portugal). La Pasqueira.

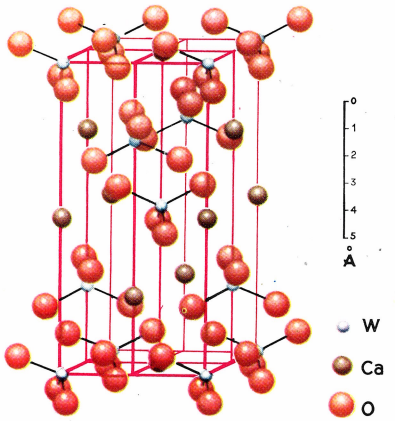



Fig. 3 - Estructura de la scheelita.

Fig. 4 - Scheelita. Málaga (España).

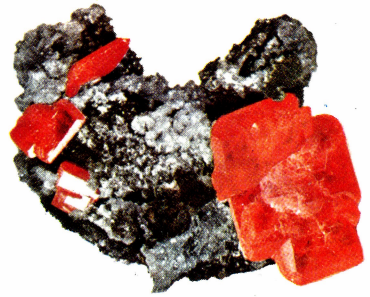


Fig. 5 - Wulfenita sobre calcita. Yuma-Arizona (U.S.A.)

## Clase VII. FOSFATOS, ARSENIATOS Y VANADATOS

Clase en la que se reúnen numerosos minerales de constitución química análoga y formas cristalinas semejantes, dando series isomorfas. Estructuralmente están constituidos por tetraedros $(P, As, V)O_4$, al modo de los silicatos, y contienen en su mayoría agua que puede estar como oxidrilos o como agua de cristalización, de imbibición o simplemente de adsorción. Se conoce relativamente poco de estos minerales existiendo un gran confusionismo tanto en los nombres de especies como en la composición y naturaleza de las mismas.

### SUBCLASE: MINERALES ANHIDROS.

MONACITA, $PO_4Ce$. Cristales monoclínicos de hábito tabular o prismático, que se presentan formando arenas. Color entre amarillo claro y pardo obscuro, con fuerte brillo resinoso. Ópticamente biáxico positivo. Contiene hasta 70 % de tierras raras, con el 19 % de torio, elemento radiactivo importante como materia prima para los mecheros de incandescencia. Ocurre en granitos y gneiss como elemento disperso. Los yacimientos secundarios formados por arenas fluviales y costeras procedentes de la descomposición de granitos y gneiss son los únicos utilizables económicamente y cabe citar los de Antigua, Bahía, Minas Geraes y Caravellos, todos ellos en el Brasil. En España se le encuentra en las arenas de las rías gallegas.

#### Grupo del Apatito.

Cristalizados en la clase paramórfica hexagonal, los minerales de este grupo son un ejemplo claro de serie isomorfa.

APATITO, $(PO_4)_3(F,Cl)\ Ca_5$. Cristales de tamaño que varía desde los de peso enorme de New-York y Canadá hasta otros que son finas agujas. Los cristales incluidos tienen hábito prismático corto, mientras los implantados en las fisuras de los granitos (Alpes) son gruesamente tabulares. Cuando informe, en agregados compactos, granudos, fibrosos, etc.

Desde completamente incoloro y transparente hasta turbio opaco, pasando por las más diversas coloraciones, de las que cabe destacar la verde-amarillenta, dando la variedad *esparraguina* (fig. 3), y la verde azulada que da la *moroxita*. Brillo vítreo y raya blanca. Ópticamente uniáxico negativo, con birrefringencia débil y a veces pleocroico, aunque suele presentar anomalías ópticas.

Mineral muy difundido entre yacimientos de origen variado, es importante tanto geológica como técnicamente por ser el principal portador de ácido fosfórico en el reino mineral. Ocurre en dos variedades: 1) como *Apatito*, en formas claramente cristalizadas y agregados cristalinos, asociados a rocas eruptivas, como en los filones de casiterita de Bolivia y en las pegmatitas de Quebec (Canadá) (fig. 2), o bien en los minerales de hierro como los de Durango (Méjico); 2) como *Fosforita*, variedad amorfo-coloidal, cripto-cristalina, de naturaleza pulverulenta, formada en virtud de procesos sedimentarios en su más amplio sentido. Esta última variedad tiene composición química muy variable y algunas fosforitas se apartan francamente del apatito, pero son extraordinariamente importantes como materia prima de los abonos fosfatados.

PIROMORFITA, $(PO_4)_3Cl\ Pb_5$. También denominada plomo verde, se presenta en cristales prismáticos en forma de tonel. De color generalmente verde y brillo graso o semidiamantino, tiene raya blanca. Se le halla en los afloramientos de Galena, debiendo su origen en parte al ácido fosfórico orgánico que ataca al mineral de plomo. Magníficos cristales verde-amarillentos se encuentran en la mina del Horcajo en Ciudad Real (España).

### SUBCLASE: MINERALES HIDRATADOS.

#### Grupo de la Vivianita.

Minerales monoclínicos holoédricos, formando una serie isomorfa de fosfatos y arseniatos con 8 moléculas de agua. Se presentan en cristales prismáticos o aciculares o en agregados fibroso-radiados, fuertemente pleocroicos.

La *Vivianita*, $(PO_4)_2Fe_3.8H_2O$, también denominada *hierro azul* por el bello color azul que toma en contacto con el aire, y la *Eritrina*, $(AsO_4)_2Co_3.8H_2$, llamada *flores de cobalto*, de bonito color rojo de flor de melocotón son los más típicos representantes de esta serie.

TURQUESA, $((PO_4)_4/(OH)_8)CuAl_6.5H_2O$. Se presenta casi siempre en forma de gel arracimo-arriñonada, o en diminutos cristales triclínicos. Generalmente opaco, a veces turbio y transparente reducido a polvo. De color azul celeste, verde azulado o verde manzana, tiene brillo débil céreo y raya blanca. Es muy pleocroico. Desde muy antiguo es apreciado como priedra preciosa y de adorno, habiendo sido extraído de Nuevo Méjico por los aztecas, así como de la península del Sinaí por todos los pueblos que allí convergieron; especialmente bello es el de Nishapur (Persia) denominado *Turquesa Oriental*.


*Atlas de* MINERALOGIA

POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS

Serie D Num. 7


# CLASE VII · FOSFATOS, ARSENIATOS Y VANADATOS

## Subclase: minerales anhidros

### Grupo del apatito

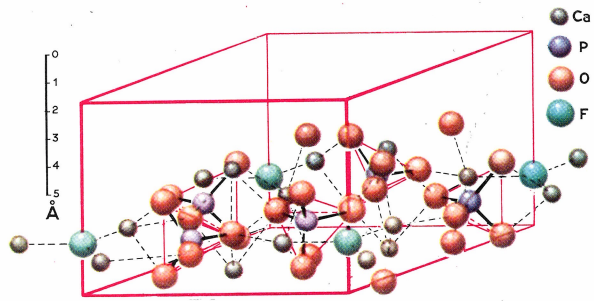



Fig. 1 - Estructura del apatito.

Fig. 2 - Cristal de apatito. Quebec (Canadá)

Fig. 4 - Piromorfita. El Horcajo, Ciudad Real (España)

Fig. 3 - Cristal de apatito, var. esparraguina. Cerro del Mercado. Durango (México)

## Subclase: minerales hidratados

### Grupo de la vivianita

Fig. 5 - Eritrina. Schneeberg. Sajonia (Alemania)

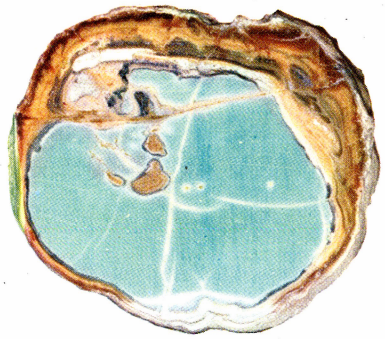


Fig. 6 - Variscita. Utah (U. S. A.)

Fig. 7 - Turquesa. Nevada (U. S. A.)

## Clase VIII. SILICATOS

Minerales formados esencialmente por grupos tetraédricos $SiO_4$, que están unidos entre sí directamente o bien por medio de cationes. Son los componentes más importantes de las rocas y constituyen con el Cuarzo el 95 % de la parte conocida de la corteza terrestre; es la clase más rica en especies y, debido a la facilidad de su investigación óptica, una de las mejor conocidas. Físicamente se reconocen con facilidad por su falta de color propio, brillo no metálico, raya blanca, elevada dureza y su aspecto general bastante característico.

La mayoría de los silicatos los hallamos como constituyentes de las rocas eruptivas, formados a temperaturas y presión elevadas, generalmente en amplias zonas de variación de ambas variables, con estructuras densas y carentes de agua; el Cuarzo, los Feldespatos y las Micas elementos fundamentales del Granito, son ejemplo claro de lo anterior. En las condiciones de formación de las rocas metamórficas se originan una serie de silicatos, algunos de ellos con estructuras menos densas y con hidroxilos, como las serpentinas, talco, etc.

Por el contrario, en las rocas sedimentarias y debido a la acción del ácido carbónico que en las condiciones ambientales destruye a los silicatos, no hay formación de estos minerales, sino que existen fases de transformación de los mismos, de estructuras generalmente en capas, con gran cantidad de agua de constitución y de imbibición. Son típicamente las arcillas.

Durante largo tiempo se intentó interpretar químicamente los silicatos, de igual forma como se había hecho con sulfatos, carbonatos, etc Se idearon una serie de hipotéticos ácidos silícicos que partiendo del ortosilícico, $SiO_4H_4$, por unión de n moléculas con pérdida de $n+1$ de agua, daba los ácidos metasilícico, $SiO_3H_2$, trisilícico, $Si_3O_8H_4$, etc. Las sales de estos ácidos constituirían los silicatos, así el Olivino, $SiO_4(Mg,Fe)_2$, sería el ortosilicato magnésico o ferroso, la Enstatita, $SiO_3Mg$, el metasilicato magnésico, y la Ortosa, $Si_3O_8AlK$, el trisilicato alumínico potásico. A partir de esta interpretación Groth ordenó estos minerales dentro de una clasificación eminentemente química que aún puede observarse en algunos libros.

Los estudios de Bragg, Goldschmidt, Machatschki, Schiebold y tantos otros sobre la estructura de estos minerales han permitido, por una parte, comprender el mecanismo fundamental sobre el que se basa su gran homogeneidad y al mismo tiempo su heterogeneidad, y por otra parte, han marcado el camino para una clasificación racional de los silicatos. Actualmente, y a pesar de su complejidad, pocos son los silicatos que no puedan identificarse estructuralmente con uno de los esquemas básicos existentes.

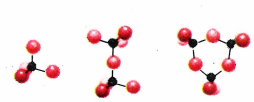
Las propiedades cristaloquímicas de los minerales de la clase se deben esencialmente a las especiales características del grupo $SiO_4$ y al tipo de armazón que resulte de sus uniones. En síntesis podemos considerar a un silicato como un esqueleto de tetraedros $SiO_4$, relleno con cationes en unos casos, con cationes y agua en otros, o sin nada en el Cuarzo.

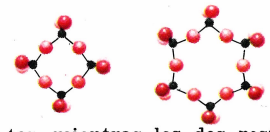
La unión del Si con los O es de naturaleza casi totalmente covalente, estando los oxígenos dispuestos en las direcciones de valencia del silicio, o sea en los vértices de un tetraedro de 2'6 A de arista en cuyo centro se halla este último a 1'6 A. Esta disposición coincide con la que presentaría si el enlace fuera enteramente polar, ya que la relación de radios Si/O corresponde precisamente a la coordinación tetraédrica, pero de la resistencia a la destrucción que tiene el Cuarzo, la presencia de esta configuración en el 95 % de los minerales de la corteza, y sus propiedades fisicoquímicas (insolubilidad en agua y en ácidos, temperatura de fusión, dureza, etc) se deduce que el tipo de enlace Si—O es casi totalmente covalente. Estos tetraedros se unen entre sí por los vértices, de manera semejante a lo que ocurre en la polimerización, para dar los varios tipos estructurales de silicatos.

La disposición de los grupos $SiO_4$ puede referirse a cinco esquemas generales:

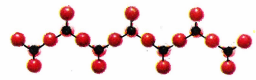
I. Los $SiO_4$ están individualmente dispuestos en la estructura, unidos entre sí únicamente a través de cationes. Forman los **nesosilicatos,** y corresponden con los antiguos ortosilicatos El Circón, $SiO_4Zr$ es ejemplo de este tipo.

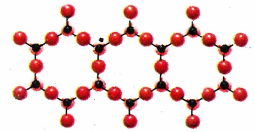
II. Se unen dos, tres, cuatro o seis $SiO_4$ por los vértices dando los tres últimos anillos cerrados, y estos complejos de tetraedros forman unidades individuales enlazadas entre sí únicamente por cationes. Los oxígenos de los vértices de unión no tienen carga alguna, poseyendo el complejo la suma de cargas de los oxígenos de los restantes vértices. Se denominan **sorosilicatos,** siendo ejemplo de ellos la Benitoita, $Si_3O_9BaTi$, con anillos de tres $SiO_4$ y el Berilo, $Si_6O_{18}Al_2B_3$, con anillos de seis $SiO_4$.



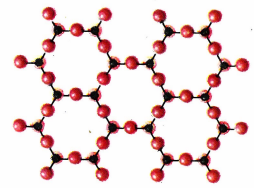


III. Los grupos $SiO_4$ se unen dando cadenas sencillas o dobles que corren a lo largo de todo el mineral, unidas unas con otras únicamente por cationes Son los **inosilicatos.** En los primeros, dos oxígenos de cada tetraedro sirven como unión de ellos en la cadena siendo inertes, mientras los dos restantes quedan con una carga cada uno; en los segundos, dos cadenas sencillas se unen entre sí formando una de doble. El primer esquema es característico de los piroxenos, mientras el segundo lo presentan los amfiboles.





IV. Uniendo tres vértices de cada tetraedro con los vértices de los vecinos se forma una capa de $SiO_4$ Forman los **filosilicatos.** En la forma más sencilla de unión de este tipo se produce una red plana hexagonal de $SiO_4$; dos de estas capas pueden unirse entre sí por medio de cationes de manera que queden fuertemente enlazadas formando un estrato, los cuales se unen a su vez por otros cationes, como en la Mica, o sencillamente por moléculas de agua, como en los minerales de la Arcilla. Las capas pueden adoptar configuración tetragonal como en la Apofilita.



V Los tetraedros de $SiO_4$ se unen entre sí formando un armazón tridimensional, que puede o no tener valencias libres. Forman los **tectosilicatos.** El Cuarzo es estructura de este tipo sin valencias libres, mientras los Feldespatos tienen cargas repartidas en su estructura debido a sustituciones del Si por Al en algunos tetraedros.

Como final indicaremos que en algunas de estas estructuras el Si está parcialmente reemplazado por Al, dejando cargas libres, y quedando puntos débiles por donde se produce la rotura inicial de la red cuando el mineral se destruye y descompone.

## SUBCLASE: TECTOSILICATOS.

### Grupo del Cuarzo.

Se incluyen en este grupo las diversas modificaciones del anhídrido silícico, tanto las polimorfas cristalinas como las amorfas. En la Naturaleza existen cuatro formas de $SiO_4$: Cuarzo-, Tridimita-, Cristobalita-, y gel de sílice. Las restantes, Cuarzo-, Tridimita- y Cristobalita-, son formas polimorfas de temperatura superior, inestables en las condiciones ambientales.

CUARZO, $SiO_2$. Cristales enantiomórficos romboédricos, de conformación variada según el tipo de yacimiento; el *Cuarzo común* se presenta en cristales de hábito prismático hexagonal, con dos romboedros de igual desarrollo que semejan una bipirámide hexagonal (Jacinto de Compostela) (fig. 1), mientras que las variedades de *Cristal de roca* (fig. 2) y *Cuarzo ahumado* (fig. 3), por ejemplo los cristales de Cuarzo del San Gottard, son ricos en facetas de hábito claramente romboédrico, con caras de trapezoedro trigonal, derecho o izquierdo, y que comunican el carácter dextrógiro o levógiro al cristal.

La mayoría de cristales de Cuarzo son maclas de complemento de sutura irregular y compenetración íntima, de modo que parecen cristales sencillos y sólo se reconocen por las caras de trapezoedro o por medios físicos (piezoelectricidad, actividad óptica, etc.). Los cristales se unen, en estas maclas, según cuatro leyes importantes:

1. Ley del Delfinado; la macla tiene actividad óptica, y se presenta en los Cuarzos alpinos, en Zinkenstock, macizo de Aase (Suiza).
2. Ley del Brasil; el conjunto tiene centro de simetría y no tiene actividad óptica. La macla típica del Cuarzo amatista (fig. 4) que se encuentra en el Brasil, cuyos ejemplares son muy apreciados en joyería.
3. En algunos cristales existen simultáneamente las dos leyes anteriores.
4. Ley del Japón, o de la Gardeta (figura 5); se presenta con frecuencia en los Cuarzos japoneses.

Muchos Cuarzos alpinos se encuentran en forma de agregado uniplanar (dando los *Cuarzos helicoidales*), en la que dos cristales, con los ejes ternarios girados un cierto ángulo, se unen por la cara de prisma, tomando aspecto helicoidal.

Se presenta en grupos y drusas, principalmente en las geodas alpinas, en magníficos cristales, o bien como elemento fundamental de las rocas ácidas (granito, pegmatita, etc.). Es incoloro y completamente transparente, aunque puede tomar variadísimas coloraciones y volverse translúcido, y aun opaco (*Cuarzo lechoso*). Brillo vítreo. El *Cuarzo rosado* no presenta caras cristalinas y procede de las pegmatitas (Brasil, Bolivia, etc.).

Ópticamente es uniáxico, con birrefringencia débil y positiva. Tiene la propiedad de girar el plano de vibración de la luz polarizada (polarización rotatoria), cuando el rayo luminoso sigue la dirección del eje de simetría, que es eje óptico del cristal (véase lámina A/8); este giro se realiza hacia la derecha o la izquierda (cristales dextrógiros y levógiros), coincidiendo con la naturaleza de las caras trapezoédricas.

Mineral duro y frágil, es piezoeléctrico, fenómeno que sólo presentan los cristales no centrados, motivo por el cual es de gran importancia técnica en los ultrasonidos. Químicamente es $SiO_2$ puro; algunas veces, con pequeñísimas cantidades de impurezas, que le comunican el color; sólo se ataca con FH y, por fusión, con KOH.

Es el mineral más frecuente y extendido de la corteza; elemento fundamental de las rocas eruptivas, sedimentarias y metamórficas, forma también la ganga de la mayoría de filones, el llamado *Cuarzo filoniano*.

Entre las variedades cripto-cristalinas del Cuarzo deben citarse la *Calcedonia* (fig. 6), agregados duros y homogéneos con estructura fibrosa microscópica, translúcida, frecuentemente con bellas coloraciones, que cuando reviste oquedades amigdaloideas recibe el nombre de *Ágata;* el *Ónice* y la *Carneola*, esta última de color rojo sangre, se utilizan en joyería. El *Jaspe* (fig. 7) es Calcedonia opaca, intensamente coloreada; cuando tiene color verde con manchas de rojo intenso, forma el *Heliotropo*. Finalmente, la variedad más abundante en España es el *Pedernal* o *Sílex*.

ÓPALO, $SiO_2$+agua (1 al 21 %). Hidrogel de anhídrido silícico, se presenta en masas arriñonadas, en pseudomorfosis y como fosilizante. Tiene fractura notablemente concoidea, brillo vítreo, y puede ser transparente o translúcido. Se origina en la descomposición térmica de los silicatos. Existen diversas variedades: *Ópalo noble* (fig. 8), gris azulado a blanco de leche, muy apreciado en joyería; *Ópalo común*, en masas de aspecto opalino típico; *Ópalo prasio*, de bonito color verde; etc.

### Variedades polimorfas del $SiO_2$.

El $SiO_2$ cristaliza como Cuarzo por debajo de 870°, como Tridimita entre 870°

*(Continúa en la TARJETA B7.)*



# Subclase: tectosilicatos

## Grupo del cuarzo

Fig. 1 - Cuarzo, var. jacinto de Compostela. Galicia (España)

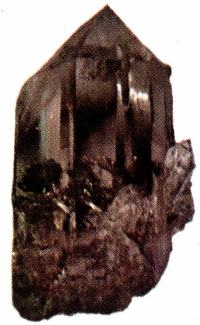


Fig. 2 - Cuarzo, var. cristal de roca. St. Gothard (Suiza)

Fig. 3 - Cuarzo ahumado. Grissones (Suiza)

Fig. 4 - Cuarzo amatista. Salinas (Brasil)

Fig. 5 - Cuarzo, macla de la Gardeta (Japón)

Fig. 6 - Calcedonia, var. cornalina. (Brasil)

Fig. 7 - Jaspe. Montjuich Barcelona (España)

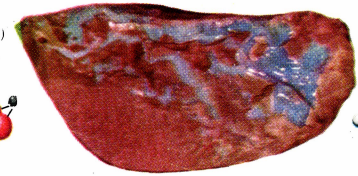
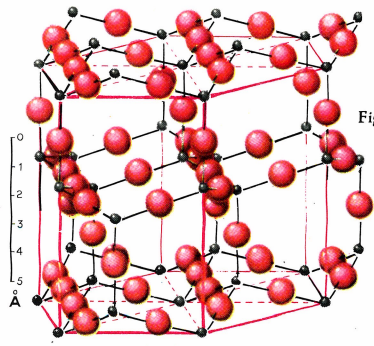
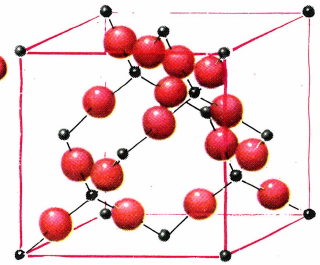


Fig. 8 - Opalo noble. Queensland (Australia)

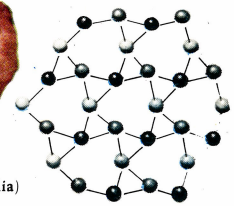



Tridimita



Cristobalita

Fig. 9 - Variedades polimorfas de $SiO_2$



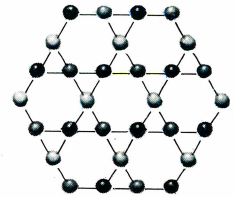


Fig. 10 - Relación entre α-, y β-cuarzo

**Grupo Feldespatos.**

Conjunto de minerales estrechamente relacionados por su morfología y sus propiedades físicas, cristalizados en las singonías monoclínica o triclínica, formando dos subgrupos: la serie de los Feldespatos monoclínicos y la de los triclínicos. Todos ellos poseen exfoliación perfecta según el 2.° y el 3.er pinacoide, que forman entre sí un ángulo de 90° en los de simetría monoclínica, y de 86° en los triclínicos.

Los feldespatos tienen el mismo esquema estructural. Cuatro tetraedros de $SiO_4$ se unen, formando un anillo, el cual, a su vez, se enlaza con otros, formando una cadena (fig. 1), que corre paralela al 1.er eje cristalográfico y es paralela a los pinacoides 2.° y 3.°, lo cual explica la exfoliación. A su vez, estas cadenas se unen entre sí por los oxígenos marcados A y B (fig. 2 y 3), quedando de los cationes en los intersticios, pero en posiciones más o menos fijas. En los Feldespatos triclínicos, los cationes son más pequeños, Na y Ca, que en los monoclínicos, K y Ba, lo cual motiva una distorsión del esquema estructural descrito, siendo esta la causa del triclinismo (fig. 3).

En la estructura de estos minerales una parte del Si puede estar sustituida por Al.

**Serie de los Feldespatos monoclínicos.**

ORTOSA, $Si_3AlO_8K$. Cristales incluidos o implantados, de proporciones muy variadas; los ángulos entre caras varían algo por efecto de las mezclas isomorfas. Hábito diverso, gruesamente tabular o prismático en los cristales incluidos, muy ricos en facetas los implantados en las drusas y hendiduras del granito y groseramente romboédricos en la Adularia.

Maclas de entrecruzamiento muy frecuentes, con los individuos compenetrados parcialmente (fig. 4), denominadas *de Karlsbad; maclas de yuxtaposición, de Baveno* (fig. 7) y *de Manebach* (fig. 6).

Incoloro y transparente como el agua *a blanco turbio y completamente opaco.* A temperaturas elevadas, es miscible en todas proporciones con la albita, pero, al enfriarse lentamente, la mezcla es inestable y se produce la separación de las dos fases denominada *desmezcla pertítica,* que consiste en la formación de cordones de cuerpecitos de Albila dentro del cristal de Ortosa. En este caso, los cristales son blancos, amarillentos o de color de carne y opacos.

*Ópticamente,* biáxico negativo, con refringencia y birrefringencia débiles, las constantes ópticas de este mineral varían dentro de ciertos límites según la composición química.

Entre las principales variedades de la Ortosa, podemos citar:

1. *Feldespato común,* de color rojizo a blanco, opaco excepto en láminas delgadas; es la variedad más frecuente, hallándose bellos cristales con la macla de Karlsbad en Zarzalejo (Madrid).
2. *Adularia,* silicato alumínico potásico muy puro, de origen hidrotermal, de aspecto vítreo, claro y transparente o translúcido; muy frecuente y característico de las grietas alpinas (fig. 5).
3. *Sanidina,* existente en rocas volcánicas jóvenes; como cristales incluidos contiene gran cantidad de Na, y no se ha producido la desmezcla pertítica por el rápido enfriamiento, siendo de aspecto vítreo, claro y transparente.

**Serie de los Feldespatos triclínicos.**

Los minerales principales de esta serie son: Microclina, Plagioclasas y Anortoclasas. No forman series isomorfas entre sí, pero cada uno de ellos, excepto la microclina, son series isomorfas con gran número de términos intermedios. Las anortoclasas son feldespatos sódico-potásicos, estables solamente a temperaturas elevadas, que encontramos en algunas rocas volcánicas.

MICROCLINA, $Si_3AlO_8K$. Forma triclínica de feldespato potásico; presenta estrecha relación morfológica con la Ortosa, de la que es difícil de distinguir. En general, los cristales están constituidos por un entrecruzamiento de finas laminillas unidas según la ley de la Albita y la de la Periclina, dando una macla polisintética que, al observarla por luz polarizada, presenta una estructura reticular característica. Es notable una variedad de Microclina, de color verde intenso: la *Amazonita* (fig. 8).

PLAGIOCLASAS. Serie isomorfa cuyos términos extremos son la *Albita,* $Si_3AlO_8Na$ (figura 9), y la *Anortita,* $Si_2Al_2O_8Ca$, y cuyas propiedades geométricas y físicas varían continuamente entre las de estos minerales. Los términos intermedios han recibido distintos nombres, según la proporción de Albita y Anortita, indicándole esta proporción por *$ab_5an_5$,* que es la *Andesita.* Se presentan siempre en maclas polisintéticas, según la ley de la albita, en que las laminillas se unen por el 2.° pinacoide, o según la de la periclina, en que el eje de macla es el 2.° eje cristalográfico; éstas pueden, a su vez, maclarse con alguna de las leyes de la Ortosa, dando maclas múltiples.

Minerales incoloros o blancos, frecuentemente gris verdosos, con brillo vítreo; la *Labradorita* presenta reflejos tornaso-

*(Continúa en la TARJETA C4.)*



## CLASE VIII · SILICATOS

### Subclase: tectosilicatos

#### Grupo de los feldespatos

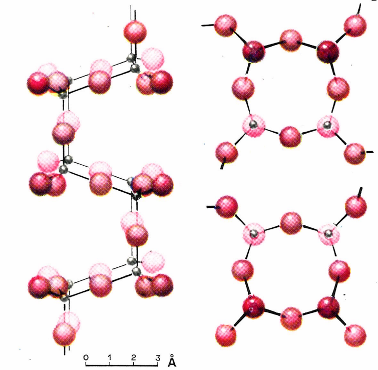



Fig. 1 - Esquema estructural de los feldespatos

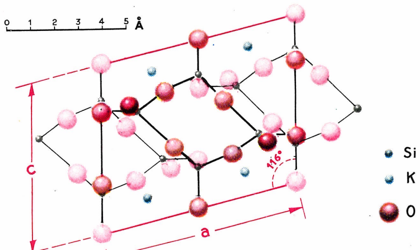



Fig. 2 - Estructura de la ortosa

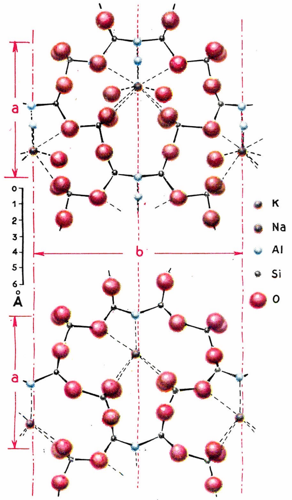



Fig. 3 - Relación entre las estructuras de la ortosa y de la albita

Fig. 4 - Ortosa (macla de Carlsbad). Zarzalejo Madrid (España)

Fig. 5 - Adularia (macla múltiple) Tirol (Austria)

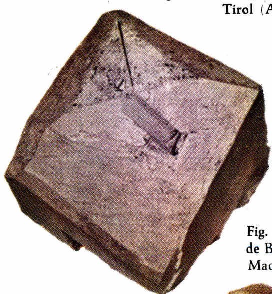


Fig. 7 - Microclina (macla de Baveno). Bustarviejo Madrid (España)

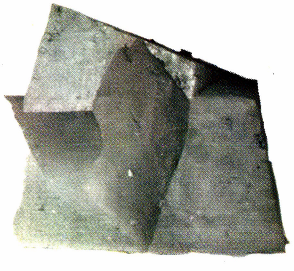


Fig. 6 - Adularia (macla de Manebach). Grisones (Suiza)

Fig. 8 - Microclina, var. amazonita. Florisant Colorado (U. S. A.)

Fig. 9 - Albita, var. clevelandita. Virginia (U. S. A.)

**Grupo Nefelina.**

Minerales cuya estructura puede considerarse derivada de la Tridimita, substituyendo, aproximadamente, la mitad de Si por Al, y entrando en ella sodiones para equilibrar la carga del edificio.

La *Nefelina*, $SiAlO_4Na$, cristalizada en la tetartoedria hexagonal en prismas cortos asociados al pinacoide básico, es el más importante del grupo. Casi siempre de color blanco, se presenta también incoloro y transparente, con brillo vítreo; en las fracturas, tiene brillo graso intenso característico. Ópticamente, uniáxico negativo, con refracción y birrefringencia débiles. Mineral petrográfico de gran importancia, contiene una cantidad variable de K, que produce fenómenos de desmezcla similares a los de los Feldespatos, dando cristales turbios y coloreados, denominados *Eleolita*.

**Grupo Leucita.**

Pueden considerarse derivados de la Cristobalita por el mismo fenómeno que en el grupo anterior. Son dimorfos, con una forma cúbica de temperatura alta y otra rómbica de baja temperatura.

La *Leucita*, $Si_2AlO_6K$, se presenta en cristales incluidos, aislados, con formas geométricas perfectas de trapezoedro regular (fig. 2), integradas por finas laminillas, macladas, según la cara del rombododecaedro, en macla polisintética que afecta a todo el cristal. Estas laminillas son rómbicas, pero, al calentar el cristal a 600°C, se homogeneízan y el cristal se vuelve isótropo; al descender la temperatura, se reproduce el fenómeno. Blanco con tinte grisáceo y brillo vítreo, es translúcido, siendo muy raros los cristales transparentes. Refracción y birrefringencia débiles; es biáxico positivo. Es elemento constitutivo de rocas volcánicas (Basaltos leucíticos).

**Grupo de la Sodalita (Ultramarinas).**

La estructura de estos minerales está basada en una armazón tridimensional de tetraedros $(Si,Al)O_4$, tal como se observa en la lámina E1, con grupos Cl, $SO_4$, S ó $S_2$, que se disponen en los vértices y centros de las caras de la celda fundamental (fig. 3); cada grupo está rodeado por cuatro oxígenos en disposición tetraédrica. Las cargas negativas se neutralizan por Na o Ca, que están tangentes a tres oxígenos de la armazón y a un grupo negativo. Los principales términos son: *Sodalita*, $Si_6Al_6O_{24}Na_8Cl_2$, *Haüynita*, $Si_6Al_6O_{24}(Na,Ca)_{1-8}(SO_4)_{1-2}$, y *Lapizlázuli*, $Si_6Al_6O_{24}Na_8S$.

El Lapizlázuli (fig. 4), empleado como piedra de adorno desde la antigüedad, posee un bello color azul obscuro intenso, no uniforme, translúcido en capas delgadas, presentándose en agregados de granos pequeños o muy finos. Mineral de contacto, íntimamente ligado a las calizas, se le encuentra en Badakschan (Afganistán) y, esporádicamente, en Chile.

**Grupo de las Ceolitas.**

Minerales con estructuras formadas por una armazón tridimensional de tetraedros $(Si,Al)O_4$, con amplios canales que recorren todo el cristal y donde se alojan moléculas de agua y cationes o aniones. Se caracterizan por su contenido variable de agua, que, al calentar el cristal, desaparece sin que éste varíe en absoluto de forma, y que, puesto en atmósfera húmeda, recupera, dependiendo la cantidad de agua que absorbe, de la tensión de vapor de esta última. En el cristal deshidratado, el lugar del agua puede ser ocupado por moléculas neutras ($NH_3$, $CO_2$, alcohol, etc.). Otra característica es la facilidad con que intercambian los iones o aniones; es suficiente colocar una ceolita bárica, la *Edingtonita*, en contacto con disoluciones que contengan iones K, Ag, Na, etc., para que éstos substituyan al Ba, mientras que este último pasa en parte a la disolución, sin que durante el fenómeno se observe el menor cambio morfológico en el cristal. Esto es debido a que los canales donde se hallan los cationes o aniones son suficientemente amplios para permitir la libre circulación de estos últimos, y al mismo tiempo, a que el edificio tridimensional de tetraedros es lo suficientemente rígido para no sufrir modificación alguna durante el cambio

Podemos subagrupar las ceolitas en: 1) *Ceolitas cúbicas* o *pseudo-cúbicas*, con edificio tridimensional en el que existen anillos de cuatro y seis tetraedros alternativamente, parecido al de las Ultramarinas, como la *Analcima*, $Si_2AlO_6Na.H_2O$, cúbica (fig. 5), y la *Chabasita*, $Si_4Al_2O_{12}(Ca,Na_2).6H_2O$ (fig. 6), romboédrica; 2) *Ceolitas fibrosas*, con cadenas de tetraedros unidas lateralmente entre sí a intervalos irregulares y poco frecuentes (figuras 7 y 8), como la *Natrolita*, $Si_3Al_2O_{10}Na_2.2H_2O$; 3) *Ceolitas hojosas* o *laminares*, formadas probablemente por capas de tetraedros unidas entre sí débilmente, y aun, en algunos casos, estas uniones se verifican a través de moléculas de agua o de cationes, como en la *Heulandita*, $Si_7Al_2O_{18}Ca.6H_2O$.

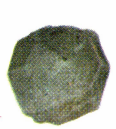


Fig. 1 - Leucita. Vesubio (Italia)

Fig. 2 - Nefelina. Encarnación Jalisco (México)

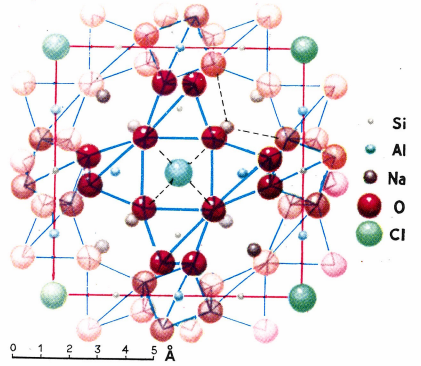



Fig. 3 - Estructura de la sodalita

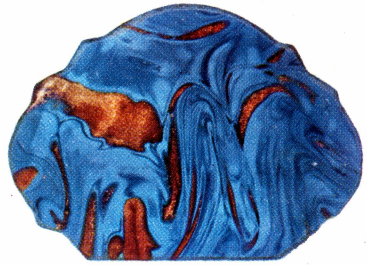


Fig. 4 - Lapislázuli. Badackschan (Afganistan)

## Grupo de los ceolitas

Fig. 5 - Chabasita. Gable Sta. - Oregón (U. S. A.)

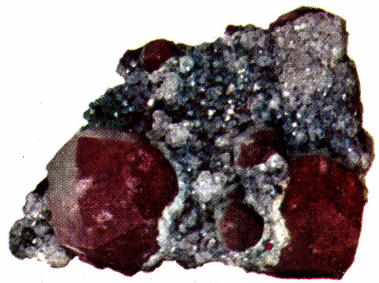


Fig. 6 - Analcima sobre calcita Michigan (U. S. A.)

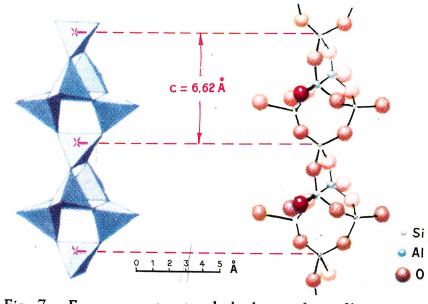



Fig. 7 - Esquema estructural de las ceolitas fibrosas

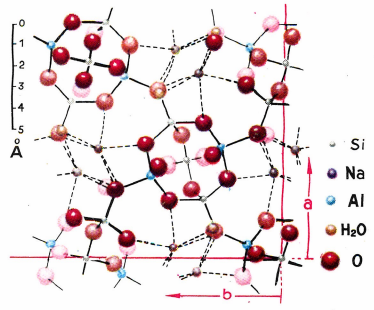



Fig. 8 - Estructura de la natrolita

## SUBCLASE: FILOSILICATOS.

Se reúnen en esta subclase un gran número de minerales con una propiedad común derivada de la presencia de capas de tetraedros $SiO_4$ en su estructura: todas poseen exfoliación perfecta según el pinacoide básico. Como ya se indicó en la lámina E1, la disposición de los tetraedros en las capas puede ser tetragonal, como ocurre con la *Apofilita* (fig. 1), o bien hexagonal, más apropiadamente pseudohexagonal, como ocurre en las *Micas*, y en la mayoría de Filosilicatos.

### Filosilicatos con capas hexagonales.

La base estructural de estos minerales son las capas de $SiO_4$, en disposición hexagonal, quedando en cada uno de los tetraedros un oxígeno libre, dirigidos todos ellos en el mismo sentido (fig. 2). Estas capas se unen entre sí, de diversas maneras, por medio de cationes, dando los tipos estructurales de estos minerales.

En el *Talco*, $Si_8O_{20}(OH)_4Mg_6$, dos capas de tetraedros se enlazan a través de iones magnesio, de modo que cada Mg coordina con dos oxígenos libres de cada capa y con dos grupos OH. (fig. 3). El mineral es monoclínico, presentándose en agregados escamosos, la *Esteatita*, cuya exfoliación da escamas muy finas de brillo nacarado y flexibles. En España son numerosas las canteras en explotación, radicando la mayoría en Cataluña (fig. 4).

Cuando los Si de los tetraedros están parcialmente sustituidos por Al, los estratos anteriores no quedan equilibrados eléctricamente, sino que están cargados negativamente, uniéndose entre sí por medio de cationes alcalinos o alcalinotérreos, principalmente K y Ca (fig. 5). El edificio continúa ofreciendo exfoliación fácil paralela a los estratos, pero su rigidez es mucho mayor. Es la estructura de las Micas, entre ellas *Moscovita*, $Si_6Al_2O_{20}(OH)_4Al_2K_2$ y *Biotita*, $Si_6Al_2A_{20}(OH)_4(Mg,Fe)_6K_2$.

Las *Cloritas*, minerales muy parecidos a las Micas, están formadas por estratos iguales a los del Talco, con capas de Brucita o de Hidrargilita intercaladas (fig. 6). Su composición química es extraordinariamente variable, formándose a expensas de las micas a temperaturas bajas. Podemos distinguir las *Ortocloritas* y las *Leptocloritas;* estas últimas siempre en agregados compactos, desprenden agua a poca temperatura.

Entre las primeras citaremos la *Pennina*, $Si_6Al_2O_{20}(OH)_{16}Mg_{10}Al_2$ (fig. 7), con cristales de hábito romboédrico, color verde azulado, brillo nacarado, y fuerte pleocroísmo. Se le halla principalmente en las pizarras cloríticas.

Los minerales agrupados bajo la denominación de «minerales de la arcilla», se estudian en la lámina siguiente.

Finalmente, las *Serpentinas*, $Si_2O_9Mg_3H_4$, forman un grupo heterógeno en el que las capas de $SiO_4$ pueden quedar reducidas a bandas estrechas dando minerales fibrosos como el *Crisotilo* (fig. 8), muy cercano a los Anfíboles y de gran importancia técnica, o bien mantenerse como en la *Antigorita*, también llamada serpentina hojosa.

### Grupo de las Micas.

Forman un conjunto de minerales con una serie de propiedades comunes. Todos tienen simetría monoclínica, con hábito pseudohexagonal tabular, y presentan un curioso polimorfismo estructural debido a la ordenación de los estratos en su estructura. Estos estratos son monoclínicos de por sí, acoplados de modo que el conjunto es a su vez monoclínico. Si dos de estos estratos se unen de manera que estén girados 180°, el efecto es como si se hubieran maclado dos cristales monoclínicos, dando simetría rómbica; si son tres, o seis los que se unen con giros de 120° ó de 60°, el conjunto adquiere simetría ternaria o senaria, respectivamente.

La especial estructura de estos minerales nos permite interpretar su composición química, punto difícil en el estudio de las Micas. Se producen bajo este esquema una serie de sustituciones isomorfas, cuyos principales términos son: los ricos en K y Al, de gran importancia petrográfica, reunidos en la *familia de la Moscovita*, y los que poseen Mg o Fe, que forman la *familia de la Biotita* o *Micas negras*. Todos ellos son biáxicos negativos, siendo sus hojas de exfoliación excelente material para observar las figuras de interferencia.

MOSCOVITA, $Si_6Al_2O_{20}(OH,F)_4Al_4K_2$. Cristales monoclínicos, de hábito tabular y de contorno hexagonal. Se presenta en agregados hojosos, escamosos o compactos, estos últimos con aspecto de Esteatita, denominándose suicita. Incoloro o con tonalidades distintas pero nunca obscuras, transparentes a translúcidas, de brillo nacarado y suave. Es muy frecuente, aunque no tanto como la Biotita (fig. 9).

BIOTITA, $Si_6Al_2O_{20}(OH)_4(Mg,Fe)_6K_2$. Muy semejante a la anterior, se diferencia de ella por sus colores siempre obscuros y aun negros. Tiene birrefringencia fuerte y pleocroísmo muy fuerte que va desde un tono pálido hasta casi resultar opaca.

*(Continúa en la TARJETA D5.)*

## Subclase filosilicatos

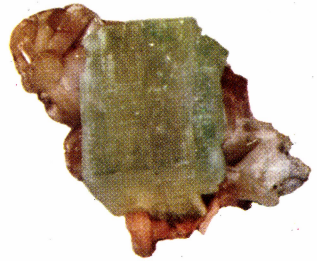


Fig. 1 - Apofilita. - Rio Grande do Sul (Brasil)

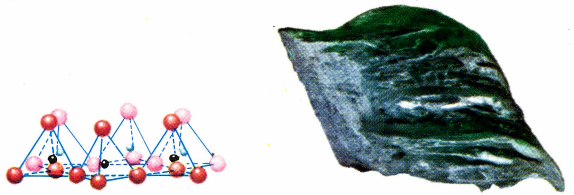


Fig. 4 - Talco. Valais (Suiza)



Fig. 2 - Capa de tetraedros Si O en disposición hexagonal

### Grupo de las micas

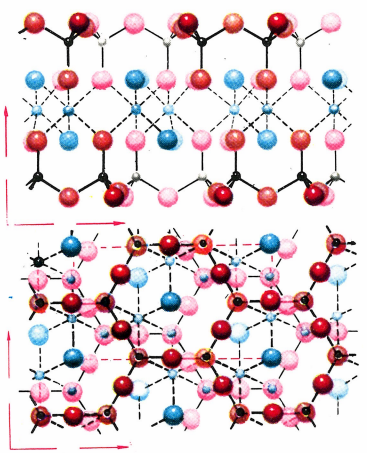


Fig. 3 - Estructura del talco

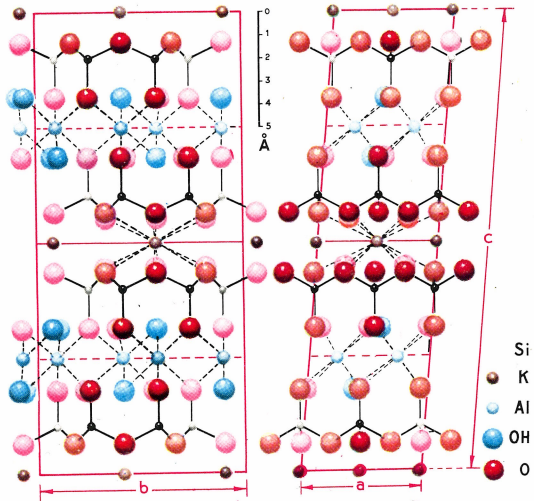



Fig. 5 - Esquema estructural de la moscovita

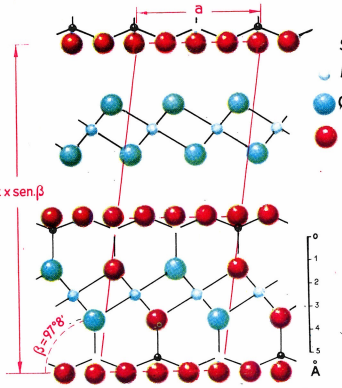



Fig. 6 - Esquema estructural de la clorita

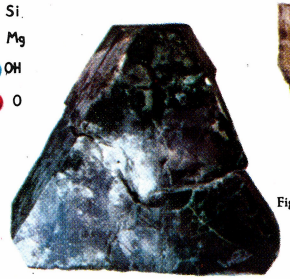


Fig. 7 - Pennina. Zermatt (Suiza)

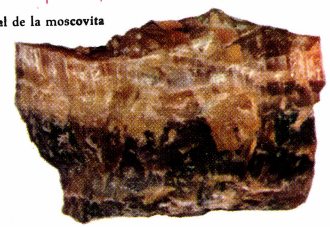


Fig. 8 - Crisotilo. Monteville - New-York (U. S. A.)

Fig. 9 - Moscovita.(Canadá)

### Minerales de la Arcilla.

Conjunto de silicatos alumínicos hidratados, algunos de ellos con magnesio o hierro sustituyendo al aluminio entera o parcialmente y con metales alcalinos o alcalino-térreos como constituyentes esenciales en algunos casos; siempre en partículas muy finas, forman la fracción arcillosa de los suelos y son los componentes de los yacimientos arcillosos, bentonitas, vermiculitas industriales, etc. Todos ellos pertenecen a los Filosilicatos, agrupándose de acuerdo con el tipo de estratos y el modo de unirse éstos en la estructura. Sus propiedades van ligadas al esquema estructural de cada grupo.

### Grupo del Caolín.

Minerales cuya estructura está integrada por estratos formados por una capa de tetraedros $SiO_4$ y otra de octaedros $AlO_6$, de manera que los oxígenos libres de la primera forman parte de la segunda ocupando dos vértices de cada octaedro y existiendo en los otros vértices grupos OH (fig. 1). Los estratos no permiten con facilidad la entrada de cationes, ni moléculas de agua entre ellos, estando enlazados por puentes hidrógeno, motivo por el que la capacidad de cambio de la caolinita es muy pequeña.

Cristalizan en la singonía monoclínica, en masas terrosas sueltas o compactas, formadas por escamitas muy pequeñas, de contorno pseudohexagonal. Existen tres especies minerales que se distinguen sobre todo por sus diferentes condiciones de formación: *Caolinita* $Si_4O_{10}(OH)_8Al_4$, (fig. 2 y 3), formada a temperatura ambiente por meteorización de Feldespatos, y principal componente de los caolines de importancia técnica; *Dickita* (fig. 4), igual composición, formada en condiciones hidrotermales; y *Nacrita*, originada a temperaturas superiores.

El *Caolín* o *tierra de porcelana* es una mezcla de estos tres minerales con Alofana, dando masas incoherentes, de aspecto terroso, plásticas cuando se les agrega agua, que se forman en cantidades explotables a expensas de rocas ricas en Feldespatos (fig. 5). Los yacimientos de caolín no son frecuentes y donde se encuentran han surgido centros cerámicos de fama mundial; China con sus famosos depósitos de la provincia de Kiangsi es el primer productor. Los depósitos de Cornualles y Devon (Inglaterra), los caolines franceses con los que se producen las porcelanas de Limoges y Sévres, los alemanes, etc., proporcionan material para las industrias cerámicas y las del papel.

### Grupo de la Halloysita.

La estructura de la Halloysita está formada por estratos similares a los que tiene la de la Caolinita, existiendo entre ellos una cantidad variable de moléculas de agua, que corresponden aproximadamente a la fórmula $Si_4O_{10}(OH)_8Al_4 \cdot 4H_2O$ cuando el mineral está completamente hidratado.

La Halloysita se deshidrata a temperaturas relativamente bajas, perdiendo toda el agua de manera irreversible y pasando a Metahalloysita, de estructura similar a la Caolinita. Los cristales son de aspecto tubular (fig. 6), cediendo y absorbiendo agua fácilmente mientras no lleguen a la deshidratación completa. Forma parte de algunos yacimientos de Bauxitas impurificando a la Hidrargilita.

### Grupo de la Montmorillonita.

Estos minerales, que sólo existen en partículas extremadamente pequeñas, están formados por estratos de dos capas de tetraedros $SiO_4$, unidas por Al, de manera que cada aluminio coordina con dos oxígenos libres de cada capa y con dos grupos OH. Se forma una nueva capa de octaedros en cuyos vértices hay cuatro oxígenos y dos grupos OH (fig. 7). Entre los estratos se sitúan cationes y moléculas de agua, pudiendo separarse o acercarse de manera reversible, al aumentar o disminuir tanto la cantidad de cationes como su tamaño o bien la cantidad de agua absorbida.

Se presenta en masas suaves, deleznables, que se hinchan con el agua, pero no llegan a ser plásticas, a diferencia de la caolinita. Toma su nombre de los yacimientos de este mineral existentes en Montmorillon, en Vienne (Francia).

### Grupo de la Illita.

Minerales que pueden incluirse en el grupo de las micas, diferenciándose de ellas por presentarse siempre en partículas muy pequeñas y no tan bien cristalizadas (fig. 8). Su estructura es muy semejante a la de la Moscovita.

### Grupo de la Vermiculita.

Se denominan Vermiculitas unos minerales procedentes, por pérdida de álcalis y ganancia de agua, de Micas de las más variadas especies. Todas ellas tienen la propiedad de hojaldrarse y curvarse en forma de gusano por el calor (fig. 9). Las Vermiculitas expansionadas se utilizan como aislantes del frío y del calor en las modernas construcciones y tienen gran aplicación como sustrato en cultivos agrícolas artificiales.

# *Atlas de* MINERALOGIA

POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS

## CLASE VIII · SILICATOS

Serie E Num. 6

## Minerales de la arcilla

### Grupo del caolín

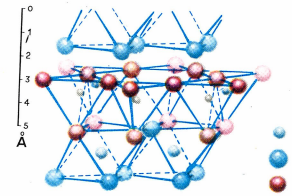



Fig. 1 · Esquema estructural de un caolín

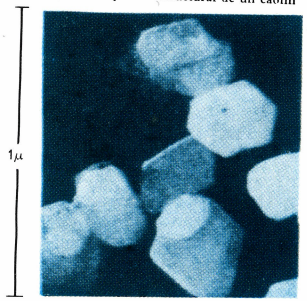



Fig. 3 · Fotografía con microscopio electrónico de cristales de caolinita

### Grupo de la halloysita

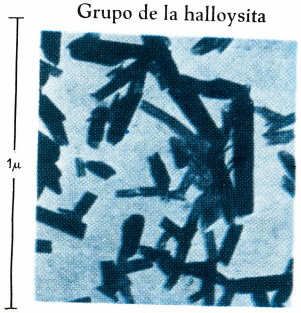



Fig. 6 · Fotografía con microscopio electrónico de cristales de halloysita

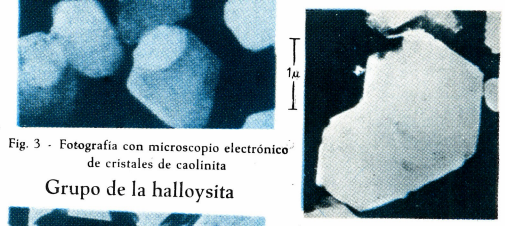



Fig. 2 · Estructura de la caolinita




Fig. 4 · Fotografía con microscopio electrónico de cristales de dickita

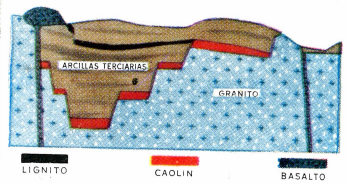



Fig. 5 · Esquema de un depósito europeo de caolín

### Grupo de la montmorillonita

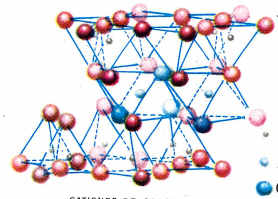



Fig. 7 · Esquema estructural de la montmorillonita

### Grupo de la illita

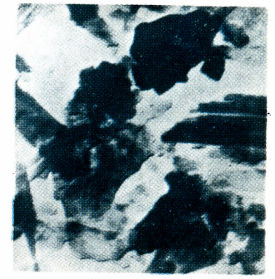
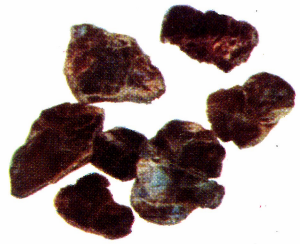



Fig. 8 · Fotografía con microscopio electrónico de cristales de illita



### Grupo de la vermiculita

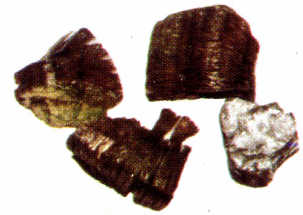


Fig. 9 · Vermiculita antes y despues de expansionarse

## SUBCLASE: INOSILICATOS.

Esta subclase está integrada por un conjunto bien definido de minerales que, a pesar de variar ampliamente en composición química, guardan relaciones muy concretas en sus propiedades ópticas morfológicas y en su exfoliación.

La estructura de estos minerales contiene cadenas infinitas de tetraedros $SiO_4$, unidos entre sí por los vértices, quedando dos oxígenos de cada tetraedro libres para enlazar con cationes. Las cadenas pueden ser sencillas o dobles (véase lámina E1), siendo ésta la diferencia esencial entre los dos grupos de minerales de esta subclase, *Piroxenos* y *Anfíboles*. Las cadenas se disponen paralelamente al 3.er eje cristalográfico, estando unidas entre sí por cationes; esto determina la aparición de una exfoliación perfecta según las caras de prisma vertical, cuyas líneas de crucero forman ángulos distintos en ambos grupos, debido a la diferente anchura en ambas cadenas (fig. 1); este ángulo es de 87° en los Piroxenos, y de 124°, en los Anfíboles, observándose perfectamente en el pinacoide básico o una sección paralela a él.

### Grupo de los Piroxenos.

Minerales petrográficamente muy importantes, cristalizados en las singonías *monoclínica* y *rómbica*, en formas muy similares, constituyendo las series de los Piroxenos monoclínicos y de los rómbicos. Todos ellos poseen refracción bastante elevada, birrefringencia mediana y pleocroísmo casi siempre débil.

### Serie de los Piroxenos monoclínicos.

Contienen dos grupos de cationes de radio algo distinto, por lo cual se formulan $Si_2O_6XY$, con Y=Ca, Mn, Na, K, y X=Mg, Fe, Al.

DIOPSIDA, $Si_2O_6MgCa$. Cristales prismáticos, con predominio del 1.er y 2.° pinacoides, dando una sección recta casi cuadrada; maclas polisintéticas según el 1.er pinacoide. También en agregados granudos y fragmentos informes. En general, color verde claro a verde obscuro, a veces incoloro, amarillo o gris. Brillo vítreo y transparente o translúcido. Biáxico positivo, presenta dispersión en las extinciones.

AUGITA. Cristales incluidos o implantados, de hábito diverso según la temperatura de formación, generalmente prismático corto y de contorno octogonal. Agregados granudos, o informe y diseminado. Color negro pez a negro verdoso y aun verde puerro, dependiendo, la tonalidad, de la cantidad de hierro que contiene; raya verde-grisácea. Opaco, pero translúcido en láminas delgadas. Biáxico positivo o negativo, tiene pleocroísmo débil, pero perfectamente perceptible, y dispersión fuerte en las extinciones (fig. 4).

La proporción de $Al_2O_3$ oscila entre 4 y 12 por 100, y la de $Fe_2O_3$, entre 4 y 16 por 100. Mineral muy difundido y común, es elemento esencial de muchas rocas magmáticas, especialmente en las volcánicas básicas.

### Serie de los Piroxenos rómbicos.

Con sólo cationes de radio pequeño, pueden considerarse como términos de la serie isomorfa $SiO_3Mg$-$SiO_3Fe$. Su estructura es casi idéntica a la de la Diópsida (fig. 5). Las propiedades ópticas varían con la relación Mg/Fe, siendo biáxicos positivos y poco pleocroicos los pobres en Fe, y negativos y con fuerte pleocroísmo los ricos en Fe; tienen extinción recta y birrefringencia débil. Color verde de claro a negro de pez con brillo vítreo. Los miembros más importantes son: *Enstatita*, $SiO_3Mg$ (fig. 6), *Broncita*, $SiO_3(Mg,Fe)$, e *Hiperstena*, $SiO_3(Fe,Mg)$.

### Grupo de los Anfíboles.

Similarmente a los Piroxenos, cristalizan en las singonías monoclínica y rómbica, dando las series de Anfíboles monoclínicos y rómbicos. No corresponden por su fórmula química a metasilicatos, conteniendo en su molécula grupos hidroxilos, expresándose $(Si,Al)_8O_{22}X_2Y_5(OH,F)_2$, con Y=Mg, Fe, Al, Mn, y X=Ca, Na, K.

### Serie de los Anfíboles monoclínicos.

Se distinguen de los piroxenos, esencialmente, en el intenso pleocroísmo, en el ángulo de las líneas de exfoliación y en la extinción que forma un ángulo pequeño con el eje vertical.

ACTINOTA. Mineral característico de las pizarras cristalinas, se presenta en cristales prismáticos alargados. con el prisma vertical bien desarrollado. Podemos distinguir dos variedades: la *Tremolita*, $Si_8O_{22}Ca_2Mg_5(OH)_2$, cuya estructura (fig. 7) muestra la semejanza y diferencia con la Diópsida, es de color blanco grisáceo o verde muy claro, fácilmente confundible con la Wollastonita, presentándose en agregados radiados; y la *Actinolita*, con grandes cantidades de FeO, de color verde obscuro, en cristales prismáticos alargados incluidos. Una variedad de Actinolita, el *Amianto*, es de gran interés industrial, presentándose en agregados fibrosos, de fibras muy flexibles; algunas veces los agregados se vuelven compactos, perdiendo flexibilidad y constituyendo el *cuero de montaña*.

## Subclase: inosilicatos

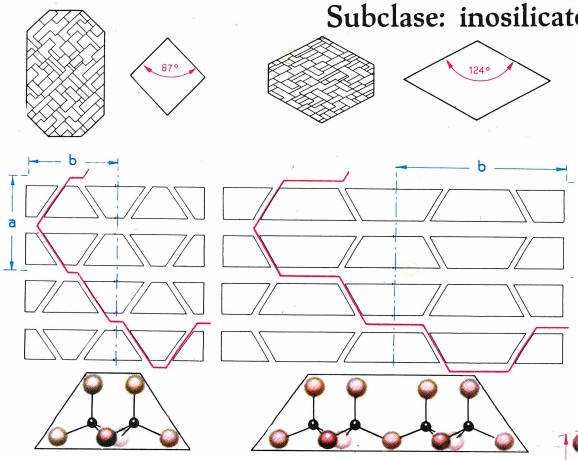


Fig. 1 - Dejalle y esquema estructural del ángulo de exfoliación

### Grupo de los piroxenos

Fig. 2 - Diópsida sobre cuarzo (Finlandia)

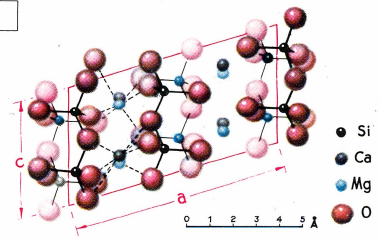


Fig. 3 - Estructura de la diópsida

Fig. 4 - Augita (Noruega)

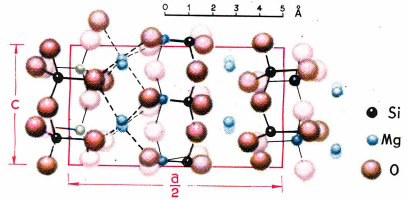


Fig. 5 - Estructura de la enstatita

Fig. 6 - Enstatita. Tesino (Suiza)

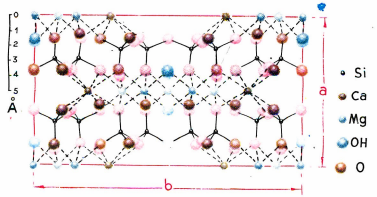


Fig. 7 - Estructura de la tremolita

### Grupo de los anfíboles

Fig. 8 - Actinota. Valais (Suiza)

Fig. 9 - Hornblenda - Tenerife (Canarias)

HORNBLENDA, $Si_8O_{22}Ca_2Mg_5(OH)_2$, con $Al_2O_3$ y $Fe_2O_3$. Cristales de contorno hexagonal, debido a la existencia del prisma vertical, y el 2.º pinacoide, con pocas caras, de hábito prismático corto, y terminados por tres caras que le dan aspecto de romboedro. Maclas según el 1.er pinacoide. En agregados fibrosos, raramente granudos. Color negro a negro verdoso, con raya verde. Brillo vítreo. Fuerte pleocroísmo y extinción, formando ángulo algo mayor, con el eje vertical, que el de la Actinota; biáxico negativo, por lo general.

Mineral muy extendido y común, es elemento esencial y accesorio de muchas rocas eruptivas, hallándose también en las pizarras cristalinas, principalmente las anfibolitas.

## SUBCLASE SOROSILICATOS.

### Grupo de la Turmalina.

Minerales de fórmula complicada, con gran variación en su composición química, formando una serie isomorfa con todos los términos de tránsito; su aspecto general y sus propiedades físicas varían fuertemente con la composición química y el yacimiento. Pueden referirse a la fórmula, aproximada, $(Si_6O_{27}B_3)(OH,F)_4XY \cdot Y_8$, en la que X representa cationes grandes Y medianos.

Cristalizan en la hemiedria hemimórfica romboédrica, con hábito prismático por la existencia de uno o más prismas trigonales, que a menudo presentan curvaturas y estriación, coronados por pirámides trigonales. Algunas veces adquieren aspecto romboédrico al desarrollarse las caras de pirámide en uno y otro extremo del cristal (Turmalina parda de Gouverneur, New-York). Raramente, en maclas. No tiene exfoliación.

Las variedades férricas son negras, las restantes presentan los más variados colores, alguna vez con coloración zonal. Pleocroísmo muy fuerte, absorbiendo el rayo ordinario totalmente, por lo cual se usan como instrumento para polarizar la luz. Su hemimorfismo es patente en las propiedades físicas, siendo fuertemente piroeléctricas.

*Mineral típicamente* de contacto, de formación neumatolítica, presencia del boro, está ligado a las rocas profundas y filonianas, especialmente con el granito. Actualmente se ha demostrado que el B puede provenir de las rocas sedimentarias. Abundante en paragénesis con cuarzo en las pegmatitas. Se halla en numerosas localidades, de las que indicaremos: Minas Geraes (Brasil) (fig. 1); los filones bolivianos, al parecer de origen hidrotermal, y California (fig. 3). En España es abundante: Cabo de Creus, Salamanca, Tibidabo, etc. Las variedades se diferencian por el color: *Acroita*, incolora; *Rubelita*, roja (fig. 2); *Indigolita*, azul; etc.

### Grupo del Berilo.

El *Berilo*, $Si_6O_{18}Al_2Be_3$, es un sorosilicato con anillos de seis tetraedros, superpuestos en dirección vertical, de modo que forman un cilindro con eje senario; los anillos están unidos entre sí, vertical y lateralmente, por átomos de Al y Be, en coordinación senaria y cuaternaria respectivamente. La estructura posee canales verticales, donde pueden quedar retenidos iones extraños.

Cristales holoédricos hexagonales, incluidos o implantados, de hábito prismático, que pueden ser enormes. Maclas muy raras. Exfoliación perfecta según el pinacoide básico; frágil. Color blanco con matiz verdoso a diversos tonos de verde, amarillento, azulado, etc.; transparente como el agua a turbio y opaco; brillo vítreo. Ópticamente uniáxico negativo, con refracción y birrefringencia medias, suele presentar anomalías ópticas debido a tensiones.

Es el más frecuente de los minerales de berilio, formándose en las pegmatitas, o bien por acción hidrotermal, como las esmeraldas colombianas. Debemos distinguir dos variedades: el *Berilo noble* y el *común*.

El primero, transparente y de bellas coloraciones, es una de las piedras preciosas más estimadas; la *Esmeralda*, de color verde intenso: especialmente bellas las de la mina Muzo (Colombia); la *Aguamarina*, de color amarillo, verdemar y azul: son famosas las de Minas Geraes (Brasil) (fig. 5), con ejemplares de 48 cm. de longitud y 110 Kg. de peso; la *Morganita*, de color rosa; etc.

### Grupo de la Vesubiana.

La *Vesubiana* o *Idocrasa*, $Si_9O_{34}(OH)_4(Mg,Fe)_2Al_2Ca_{10}$, posee una estructura estrechamente relacionada con la de los granates; de gran complejidad, con grupos $Si_2O_7$ y $SiO_4$ independientes, que se enlazan, a través del Mg y del Fe, en coordinación octaédrica.

Cristaliza en la holoedria tetragonal, en prismas cortos de magnífico desarrollo; o en agregados granudos, la *colofonita* de Arendal. Color pardo y verde de varios tonos, a menudo color de grosella y colofonia; transparente a translúcido resinoso. Uniáxico negativo, con birrefringencia muy débil. Mineral metamórfico característico; se halla en las pizarras cristalinas de numerosos lugares, y en el río Wilui (Siberia Oriental) existe una variedad denominada *Wiluita* (fig. 6).


# Atlas de MINERALOGIA

POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS

Serie E Num. 8


## CLASE VIII · SILICATOS

## Subclase: sorosilicatos

### Grupo de la turmalina

Fig. 1 - Turmalina. Minas Geraes (Brasil)

Fig. 2 - Turmalina, var. rubelita. San Diego. California (U. S. A.)

Fig. 3 - Turmalina incluída en cuarzo. California (U. S. A.)

### Grupo del berilo

Fig. 4 - Estructura del berilo

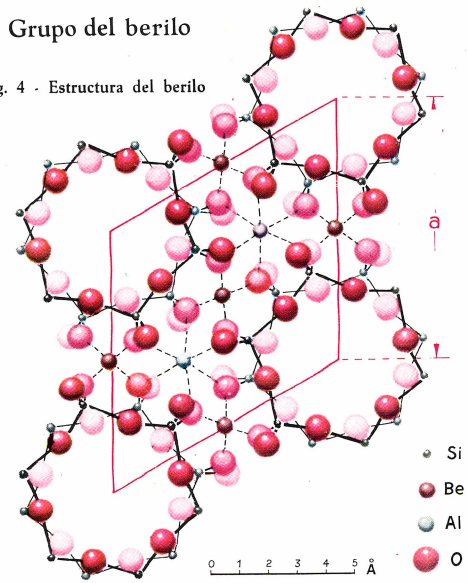


Fig. 5 - Berilo, var. agua marina. Minas Geraes (Brasil)

### Grupo de la vesubiana

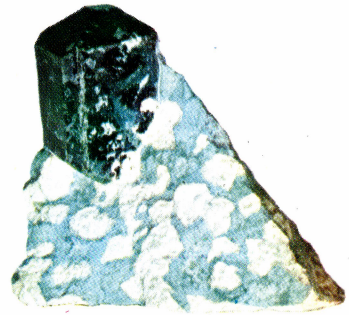


Fig. 6 - Vesubiana, var. wiluita. Río Wilui. Siberia (U. R. S. S.)

## SUBCLASE: NESOSILICATOS.

### Grupo del Olivino.

Minerales pseudohexagonales, cuya estructura es aproximadamente un empaquetado hexagonal compacto de oxígenos, en el cual los Si se hallan en espacios de simetría tetraédrica independizando grupos tetraédricos $SiO_4$, y los Mg o Fe, en espacios de simetría octaédrica, coordinados con los oxígenos por enlace polar (fig. 1). Esta disposición comunica al mineral fuerte birrefringencia, gran dureza y peso específico elevado.

El *Olivino* puede considerarse como mezcla isomorfa de la *Forsterita*, $SiO_4Mg_2$, la *Fayalita* $SiO_4Fe_2$, y la *Tefroita*, $SiO_4Mn_2$, siendo lo más frecuente la mezcla isomorfa equimolecular de las dos primeras.

Cristales sueltos o incluidos de la holoedria rómbica, con numerosas facetas. Maclas de compenetración, en cristales microscópicos. Como elemento de las rocas, diseminado e idiomorfo o en agregados granudos. Exfoliación buena según el 2.º pinacoide. Color verde botella a verde obscuro, a veces amarillento, pardo y hasta incoloro. Biáxico positivo, presentando con frecuencia estructura zonal.

Es elemento esencial de las rocas eruptivas básicas, formando por sí solo una roca denominada *Peridotita* (fig. 2); se le halla como mineral metamórfico en pizarras cristalinas. En España, abunda especialmente en la provincia de Gerona.

### Grupo de los Granates.

Minerales de composición química muy variable, respondiendo a la fórmula $(SiO_4)_3X_3Y_2$, con Y Fe, Al, Cr, Ti (trivalentes) y X Ca, Mg, Fe, Mn (divalentes). Su estructura, bastante complicada, está formada por una red de tetraedros de $SiO_4$ y octaedros $AlO_6$, unidos entre sí por los vértices, con átomos de Ca en los intersticios, coordinando con ocho oxígenos (fig. 3).

Cristalizan en rombododecaedros de la holoedria regular, combinados con el trapezoedro y, menos frecuentemente, con el trioctaedro. Cristales aislados, incluidos o implantados, a veces de gran tamaño; sueltos en cantos rodados y en arenas.

Exfoliación muy imperfecta. De todos los colores, excepto el azul, con mayor frecuencia es rojo pardusco, transparente a opaco, con brillo vítreo. Refracción elevada, y a veces anómalo ópticamente. Presenta estructura zonal.

Mineral petrográfico de gran importancia y muy frecuente, yace en rocas distintas, según sus variedades. Las más importantes son: *Grossularia*, $Si_3O_{12}Al_2Ca_3$ incoloro, rojo jacinto o amarillo de ámbar (fig. 4); *Andradita*, $Si_3O_{12}Fe_2Ca_3$, pardo y aun negro, brillo graso o resinoso intenso (mineral típico de contacto se halla diseminado y en las grietas de las pizarras cristalinas); *Melanita*, igual fórmula que el anterior, pero con elevado contenido en titano; de fuerte color negro, es elemento primario de las rocas eruptivas; *Piropo*, $Si_3O_{12}Al_2Mg_3$ (fig. 5), rojo de sangre, en granos redondeados, es apreciado en joyería, sobre todo los procedentes de las serpentinas de Merowitz, denominados *Granates de Bohemia*; *Almandina*, $Si_3O_{12}Al_2Fe_3$ (fig. 6), rojo o pardo, algunas veces con reflejos azulados, incluido en gnesis y micacitas; *Espessartita*, $Si_3O_{12}Al_2Mn_3$, amarillo a pardo rojizo, se halla principalmente en pegmatitas, aunque entre las pizarras cristalinas de Minas Geraes (Brasil) se le encuentra intercalado como verdadera roca, la *Espessartinita*.

### Grupo de la Epidota.

Conjunto de minerales de fórmula general $(SiO_4)_3(OH)(Al,Fe)_3Ca_2$, en la que una parte del Ca puede estar substituido por tierras raras.

La *Epidota* cristaliza en la holoedria monoclínica, en cristales con gran número de formas, alargados según la dirección del eje de simetría, acumulándose las facetas en ambos extremos y dando magníficos desarrollos zonales (figuras 7 y 8). Maclas frecuentes según el 1.er pinacoide. Se presenta en cristales lanceolados, reunidos en haces, y también informe en agregados radiados que, cuando son verdes, constituyen la *Pistacita*.

Exfoliación perfecta según el 3.er pinacoide. Generalmente de color verde obscuro, y brillo vítreo, es raras veces transparente, pero con frecuencia translúcido. Raya gris. Ópticamente, biáxico negativo, tiene fuerte dispersión y marcado pleocroísmo.

Mineral muy extendido, es principalmente de contacto y metamórfico, como componente de las calizas granudas; se forma también en la descomposición térmica de los feldespatos. Se le encuentra en cristales implantados en las drusas y grietas de los granitos, siendo magníficos los cristales de Zermatt (Suiza). En España es mineral muy común.

### Grupo de los Aluminosilicatos.

#### Serie Andalucita-Distena-Sillimanita.

Minerales de igual composición química, $SiO_5Al_2$, forman un caso notable de



# Subclase: nesosilicatos

## Grupo del olivino

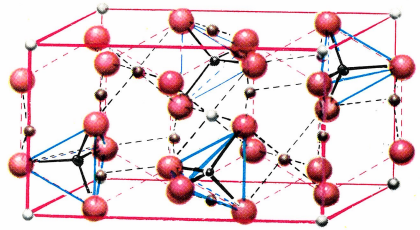



Fig. 1 - Estructura del olivino

Fig. 2 - Olivino. Canet de Adri. Gerona (España)

## Grupo de los granates

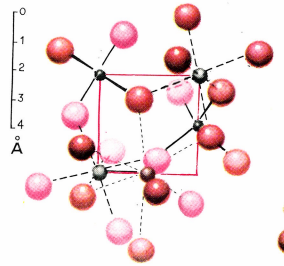



Fig. 3 - Esquema parcial de la estructura de los granates

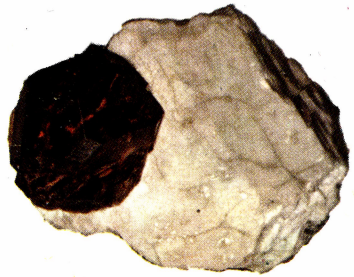


Fig. 5 - Granate, var. piropo. Maine (U. S. A.)

Fig. 4 - Granate, var. grosularia. Chihuahua (México)

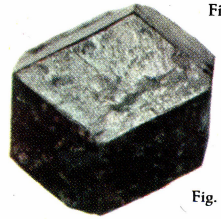


Fig. 6 - Granate, var. almandina. Bodo (Noruega)

## Grupo de la epidota

Fig. 7 - Epidota. Zermatt (Suiza)

Fig. 8 - Epidota sobre cuarzo. Isla del Príncipe de Gales. Alaska (U. S. A.)

polimorfismo. La estructura de estas tres formas polimorfas contiene cadenas de grupos $AlO_6$, en los que los oxígenos ocupan los vértices de un octaedro deformado, unidos entre sí por una arista.

En la *Sillimanita*, estas cadenas se enlazan por medio de átomos de silicio que están entre cuatro oxígenos en disposición tetraédrica, formando los grupos $SiO_4$ independientes, y por átomos de aluminio en exactamente la misma disposición. Los átomos de Si y de Al están alternantes (fig. 1).

En la *Andalucita*, estas cadenas están unidas lateralmente por Si que, situados entre cuatro oxígenos, forman grupos $SiO_4$ igual que en la Sillimanita, pero los Al están coordinando con cinco oxígenos. Es el único caso conocido en que el Al presente una coordinación de este tipo (fig. 2).

En la *Distena*, las cadenas se unen por átomos de Si dando el grupo $SiO_4$ y por átomos de Al, pero en coordinación senaria, de modo que los oxígenos están asimismo en los vértices de un octaedro (fig. 3). El conjunto de oxígenos está dispuesto muy similarmente al de un empaquetado compacto.

La diferencia esencial entre los tres minerales consiste en el tipo de coordinación de uno de los dos Al de la fórmula, que es de orden cuatro en la Sillimanita, cinco en la Andalucita, y seis en la Distena. A pesar de la existencia de cadenas de $AlO_6$, los grupos $SiO_4$ están aislados en la estructura, debiendo incluirlos entre los Nesosilicatos.

ANDALUCITA, $SiO_5Al_2$. Cristales muy sencillos de la holoedria rómbica, en forma de prismas gruesos de sección casi cuadrada (fig. 4). También en prismas largos y delgados que contienen un núcleo obscuro, generalmente de forma cruciforme, formado por residuos de materia carbonosa interpuestos en el cristal; a esta variedad se la denomina *quiastolita*, y se hallan los cristales incluidos en pizarras arcillosas (fig. 5). Generalmente gris rojiza, puede presentar diversas coloraciones; brillo vítreo y translúcida, raramente transparente. Ópticamente biáxico negativo. Es un mineral típicamente metamórfico, muy extendido, hallándose en masas considerables en donde las pizarras están en contacto íntimo con el granito.

DISTENA, $SiO_5Al_2$. Cristales triclínicos holoédricos, incluidos, lineales, de hábito prismático-tabular, con el 1.er pinacoide ligeramente ondulado y rayado transversalmente. Se presenta en maclas según numerosas leyes, una de ellas con el 1.er pinacoide como plano de macla, siendo a menudo polisintética. Abundante en agregados radiales. Tiene exfoliación perfecta según el 1.er pinacoide y patente según el 2.º; es típico de este mineral la diferencia de dureza en la dirección vertical (paralelamente al prisma) de 4 a 4½ y en la transversal de 6 a 7. Generalmente azul, también en otros colores; brillo nacarado en la superficie de exfoliación y vítreo en el resto. Mineral metamórfico y característico de las pizarras cristalinas, es componente de los gneis y de las micacitas. Se hallan hermosos cristales en las pizarras de Monte Campione, en Tessino (Suiza) (figura 6).

**Grupo Topacio-Estaurolita.**

TOPACIO $(SiO_4/F_2)Al_2$. Mineral cristalizado en la holoedria rómbica, tiene una estructura compuesta de grupos octaédricos alrededor del Al y tetraédricos alrededor del Si, como en los restantes minerales de este grupo; cuatro de los seis átomos que rodean al Al son oxígenos pertenecientes a grupos $SiO_4$, mientras los dos restantes son F. Estos últimos pueden estar parcialmente sustituidos por OH (fig. 7).

Se presenta en cristales implantados muy ricos en formas, casi siempre prismáticos cortos. También informe, en grandes trozos semejantes al Feldespato. Exfoliación perfecta según el 3.er pinacoide, con líneas de crucero muy patentes. Dureza elevada y peso específico semejante al del Diamante. Casi siempre de color amarillo vinoso, también incoloro, azul marino, rosado, etc.; los cristales de coloración intensa suelen palidecer por efecto de la luz diurna. Brillo vítreo; transparente a translúcido. Ópticamente biáxico positivo, con refracción y birrefringencia media; algunos topacios tienen inclusiones líquidas microscópicas. La sustitución parcial del F por OH es la causa de la variabilidad en el comportamiento óptico.

Es mineral típicamente neumatolítico, especialmente ligado a granitos, asociado con Casiterita. Magníficos cristales en el Brasil, en donde se encuentra la variedad *pingos d'agoa*, notable por la gran cantidad de inclusiones líquidas que contiene (figs. 8, 9 y 10).

ESTAUROLITA, $2SiO_5Al_2 \cdot Fe(OH)_2$. Cristales pertenecientes a la holoedria rómbica, de hábito prismático, muy sencillos de formas; maclas de compenetración muy frecuentes, con los dos individuos formando ángulo recto, cruz de Bretaña, o bien un ángulo aproximado de 60°, cruz de San Andrés (fig. 11). Su estruc-

## Grupo de los aluminosilicatos

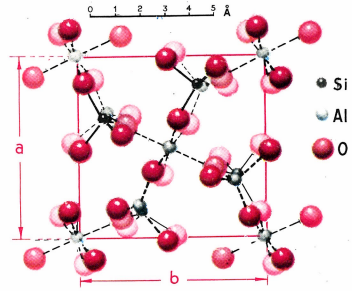


Fig. 1 - Estructura de la sillimanita

Fig. 4 - Andalucita. El Cardoso Guadalajara (España)

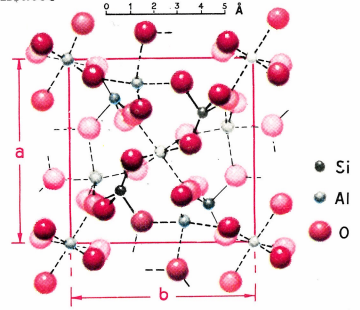


Fig. 2 - Estructura de la andalucita

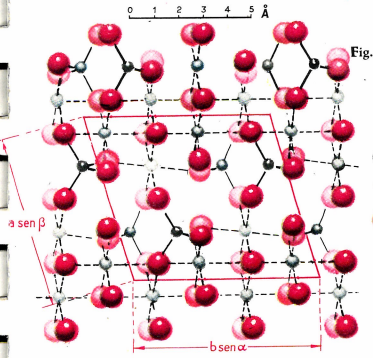


Fig. 3 - Estructura de la distena

Fig. 5 - Andalucita, var quiastolita. Boal Asturias (España)

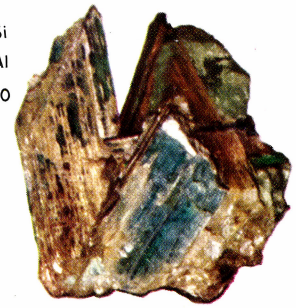


Fig. 6 - Distena. Tessino (Suiza)

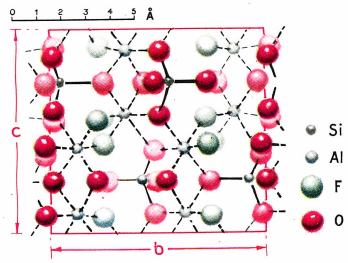


Fig. 7 - Estructura del topacio

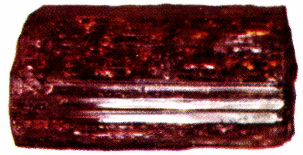


Fig. 8 - Topacio. Minas Geraes (Brasil)

Fig. 10 - Topacio azul. Minas Geraes (Brasil)

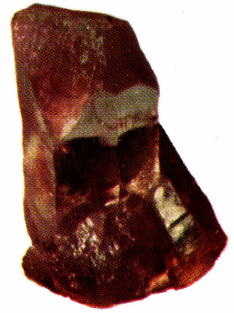


Fig. 9 - Topacio. Spitzkapel

tura, parecida a la Distena, es un empaquetado cúbico compacto de oxígenos, situándose los Si y Al en espacios tetraédricos y octaédricos respectivamente; de hecho podemos considerarla como compuesta de capas alternantes de Distena o hidróxido ferroso, coordinadas entre sí.

Tiene exfoliación patente según el 2.º pinacoide, es duro, de brillo vítreo, de color pardo rojizo a pardo negruzco y translúcido u opaco. Ópticamente es biáxico positivo y muy pleocroico. Es mineral metamórfico, a menudo asociado con Distena en pizarras. Es famosa la Estaurolita de Santiago de Compostela (España), siendo abundante en las arenas de las rías de Galicia.

**Grupo del Circón.**

Mineral cristalizado en la holoedria tetragonal, formado estructuralmente por grupos tetraédricos $SiO_4$, unidos a través de iones Zr, de modo que cada catión está rodeado de ocho oxígenos dispuestos a distancias iguales cuatro a cuatro (fig. 1). El *Circón*, $SiO_4Zr$, se presenta en cristales incluidos y desarrollados en todo su contorno, con hábito prismático o piramidal (fig. 2). Con frecuencia en cristales rodados y sueltos y en granos, nunca en masas informes.

Generalmente de color pardo y rojo pardusco, a veces amarillo, gris, verde e incoloro. Brillo vítreo, casi diamantino. Transparente a translúcido (*Circón noble*) o turbio a opaco. Ópticamente uniáxico positivo, con refringencia fuerte y birrefringencia media. Las variedades nobles del Circón, muy apreciadas en joyería, constituyen el *Jacinto*, de color rojo amarillento, y el *Jargón de Ceilán*, incoloro o ligeramente amarillento.

Químicamente contiene hasta 4 % de hafnio y algo de torio sustituyendo al circonio; es elemento radiactivo de las rocas que lo contienen. La descomposición radiactiva del torio transforma la red del mineral, observándose poca dureza, coloración turbia y gran disminución de la refringencia y birrefringencia.

En las rocas eruptivas se halla muy difundido al estado microscópico. Debido a su dureza se halla como canto rodado en placeres gemmíferos y en arenas de ríos y mares, juntamente con Espinela y Corindón. Se distingue de las piedras preciosas con las que yace en los placeres, por su elevado peso específico, superior al de todas ellas. En España se le halla principalmente en las arenas de las rías de Galicia.

**Grupo de la Titanita.**

La *Titanita*, $SiO_5TiCa$, se presenta en cristales de tipo muy diverso, pertenecientes a la holoedria monoclínica; los contenidos en las rocas eruptivas tienen forma de sobre, variedad denominada *Grothita*, y los implantados en las grietas alpinas son tabulares o fuertemente prismáticos. Maclas de compenetración frecuentes con el 1.er pinacoide como plano de macla.

Exfoliación manifiesta según las caras de prisma vertical; dureza media y peso específico elevado. Color amarillo verdoso o pardo rojizo a negro; brillo resinoso intenso; transparente a opaco. Ópticamente biáxico positivo, con refracción y birrefringencia fuertes.

Tiene estructura compuesta por grupos $SiO_4$ unidos a través de átomos de Ti en coordinación octaédrica con seis oxígenos, y de Ca, rodeado por siete oxígenos dando un grupo difícil de hallar en otros minerales (fig. 3).

Químicamente contiene tierras raras sustituyendo al titano, y en las variedades en que el itrio sustituye parcialmente al calcio, el titanio es a su vez sustituido por Al o Fe para compensar las cargas eléctricas.

Los cristales implantados, amarillos o verdes, que yacen en grietas de rocas eruptivas, se denominan *Esfena* (fig. 4). La Titanita común de las rocas eruptivas y pizarras cristalinas es de color pardo rojizo siempre. Buenos cristales en las calizas granudas de Greenville y Elmsley (Canadá). En España en Roca Negra, cerca de Olot.

**Grupo de los Borosilicatos.**

Minerales de estructura poco conocida pero con dureza, peso específico e índices de refracción propios de una estructura en tetraedros $SiO_4$ aislados.

AXINITA, $(SiO_4)_4Al_2BHCa_2(Fe,Mg,Mn)$. Cristales triclínicos de hábito más o menos tabular y de aristas generalmente cortantes. Se presenta informe y en agregados testáceos. Exfoliación bastante marcada según el 2.º pinacoide. De color pardo, tirando a gris y violeta, azul o verdoso, rojo muy raras veces; brillo vítreo fuerte; transparente a translúcido. Ópticamente biáxico negativo, con refracción y birrefringencia medias; con luz ultravioleta presenta pleocroísmo muy fuerte. Es piroeléctrico (fig. 5).

Mineral perteneciente a la zona de contacto de las rocas eruptivas, se encuentran bellos cristales en los yacimientos de magnetita de Sajonia. En España se ha citado en Montmany.

# Atlas de MINERALOGIA

POR M. FONT-ALTABA DOCTOR EN CIENCIAS

## CLASE VIII · SILICATOS

Serie E Num 11

Fig. 1 - Estaurolita, cruz de San Andrés. Carolina (U. S. A.)

Fig. 2 - Estaurolita, cruz de Bretaña. Virginia (U. S. A.)

Grupo del circón

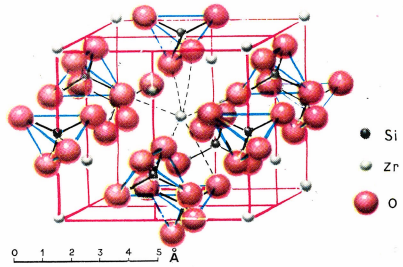



Fig. 3 - Estructura del circón

Fig. 4 - Circón. (Noruega)

Grupo de la titanita

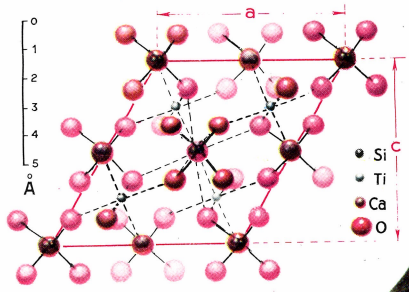



Fig. 5 - Estructura de la titanita

Grupo de los borosilicatos

Fig. 6 - Axinita. Bourg d'Oisans - Delfinado (Francia)

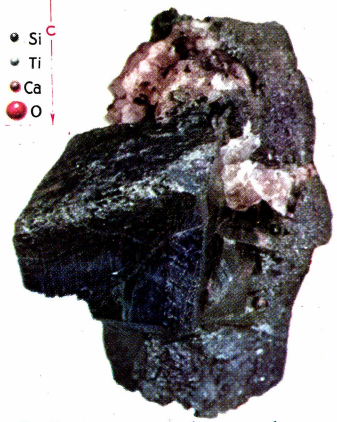


Fig. 7 Titanita, var. esfena, con calcita. Greenville (Canadá)

## Clase: MINERALES RADIACTIVOS

La principal fuente de minerales radiactivos, económicamente beneficiables, son los óxidos y sales de uranio. En los últimos años se han descrito una serie de minerales de elementos radiactivos, pero su cantidad y las condiciones de yacer hacen que deban considerarse como etapas de transición, o bien como formaciones muy raras que se presentan extraordinariamente localizadas.

A pesar de que el uranio no es un elemento raro de la corteza terrestre, al hallarse muy diseminado en rocas intrusivas, principalmente pegmatitas, son poquísimos los yacimientos explotables que de él se encuentran.

Los minerales de uranio más importantes son los óxidos anhidros o hidratados, que pueden reunirse en el *grupo de la Uraninita*, y los fosfatos dobles del radical uranilo y de un catión divalente, que se reúnen en los *grupos de la Torbernita* y *de la Metatorbernita*.

### Grupo de la Uraninita.

Comprende los óxidos de circonio, uranio y torio, *Baddeleyita*, $ZrO_2$, *Uraninita*, $UO_2$, y *Torianita*, $ThO_2$, y una serie de productos de alteración de la Uraninita, alguno de ellos no cristalino, con contenido de agua variable, brillantemente coloreados de naranja y amarillo, y con exfoliación perfecta según el plano basal, cuyos principales representantes son la *Gummita*, $UO_3 \cdot nH_2O$ (fig. 1) y la *Curita*, $2PbO \cdot 5UO_3 \cdot 4H_2O$ (fig. 2). Estas últimas fórmulas son aproximadas, ya que la cantidad de plomo existente en estos minerales, en el supuesto de que todo él es radiogénico, da la edad de su formación con bastante aproximación. Por este método se conoce que los yacimientos de Joachimstal tienen 207 millones de años, los de Katanga 665, y los de Dakota del Sur, 1667.

*URANINITA*, $UO_2$. Cristales cúbicos en los yacimientos enclavados en pegmatitas; en los filones, informe y compacto. Casi siempre fuertemente alterado por descomposición radiactiva. Estructura tipo Fluorita, al igual que la Torianita, con el U o el Th en posición del Ca, y los O en la del F; la Baddeleyita tiene el mismo tipo estructural, ligeramente distorsionado.

Color negro de pez a pardo o verde; raya verde obscura a negro parda; brillo pardo en fracturas recientes, mate en general. Ópticamente, isótropo y opaco.

Se hallan ricos depósitos de Uraninita en el Congo Belga, en Canadá (fig. 3) y en Checoslovaquia. Actualmente se han descubierto yacimientos uraníferos cerca de Ciudad Rodrigo, en Salamanca y en Cáceres (España).

### Grupos de la Torbernita y de la Metatorbernita.

Minerales que responden aproximadamente a la fórmula $(PO_4)_2(UO_2)_2A \cdot nH_2O$, siendo A=Cu, Ca, Ba o Mg. Ambos grupos poseen estructuras estrechamente relacionadas; contienen capas de tetraedros, $PO_4$ junto con octaedros distorsionados en los que el uranio está en el centro, y en los vértices hay oxígenos pero de manera que dos de ellos están a distancia menor, independizando el grupo Uranilo, $UO_2$ Estas capas están unidas por los cationes divalentes y por moléculas de agua, que poseen bastante movilidad, presentando analogías con las ceolitas hojosas.

La diferencia entre los dos grupos estriba en la posición relativa de las capas, desplazadas una mitad de la arista fundamental en un grupo respecto al otro.

TORBERNITA, $(PO_4)_2(UO_2)_2Cu \cdot 8\text{-}12\,H_2O$. Cristales holoédricos tetragonales, con pocas facetas y hábito tabular grueso o piramidal. Exfoliación perfecta según el pinacoide básico. De color verde esmeralda a verde hierba, con brillo diamantino y transparente o translúcido, tiene un hermoso aspecto.

Es un producto de oxidación de la Uraninita; por tanto, es mineral secundario. Se le halla abundantemente en Kasolo, Chinkolobwe y en todo el distrito de Katanga (fig. 4).

AUTUNITA, $(PO_4)_2(UO_2)_2Ca \cdot 10\text{-}12\,H_2O$. De propiedades morfológicas y físicas muy semejantes a las de la Torbernita, posee color amarillo limón a verde amarillento o verde pálido. A la luz ultravioleta, es extraordinariamente fluorescente con color amarillo verdoso (fig. 5).



### Grupo de la uraninita

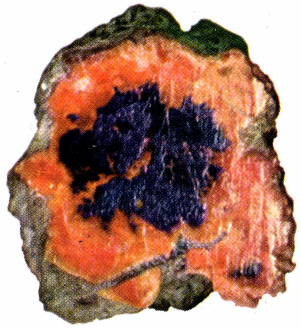


Fig. 1 - Gummita (aureola en torno de uraninita). Carolina del Norte - (U. S. A.)

Fig. 2 - Curita (naranja) y metatorbernita (verde) Katanga (Congo)

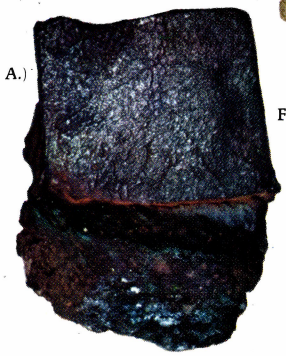


Fig. 3 - Uraninita. Lago de los Osos (Canadá)

### Grupos de la torbernita y de la metatorbernita

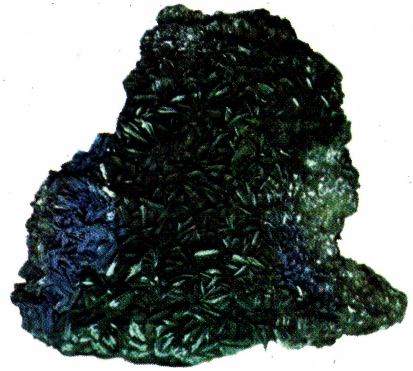


Fig. 4 - Torbernita con tenorita. Katanga (Congo)

Fig. 5 - Autunita. Mt. Spokane - Washington (U. S. A.)

# INDICE ALFABETICO


Acroíta ... ... ... ... E/8
Actinolita ... ... ... E/7
Adularia ... ... ... ... E/3
Agata ... ... ... ... ... E/2
Aguamarina ... ... E/8
Albita ... ... ... ... E/3
Alexandrita ... ... ... C/3
Almandina ... ... ... E/9
Alumogel ... ... ... C/6
Amazonita ... ... ... E/3
Amianto ... ... ... ... E/7
Analcima ... ... ... E/4
Andalucita ... ... ... E/10
Andesita ... ... ... ... E/3
Andradita ... ... ... E/9
Anglesita ... ... ... D/4
Anhidrita ... ... ... D/4
Anortita ... ... ... ... E/3
Antigorita ... ... ... E/5
Antimonita ... ... ... B/7
Apatito ... ... ... ... D/7
Apofilita ... ... ... ... E/5
Aragonito ... ... ... D/3
Argentita ... ... ... B/4
Atacamita ... ... ... C/2
Autunita ... ... ... ... F/1
Axinita ... ... ... ... E/11
Azufre ... ... ... ... B/2
Azurita ... ... ... ... D/3
Baddeleyita ... ... ... F/1
Baritina ... ... ... ... D/4
Bauxita ... ... ... ... C/6
Berilo ... ... ... ... E/8
Biotita ... ... ... ... E/5
Bismutita ... ... ... B/7
Blenda ... ... ... ... B/4
Boracita ... ... ... ... D/1
Bórax ... ... ... ... ... D/1
Broncita ... ... ... E/7
Calcanita ... ... ... D/5
Calcedonia ... ... ... E/2
Calcita ... ... ... ... D/2
Calcopirita ... ... ... B/5
Calcosina ... ... ... B/4
Caolín ... ... ... ... E/6
Caolinita ... ... ... ... E/6
Carnalita ... ... ... D/1
Carneola ... ... ... ... E/2
Casiterita ... ... ... C/5
Celestina ... ... ... D/4
Cerusita ... ... ... ... D/3
Cinabrio ... ... ... ... B/6
Circón ... ... ... ... E/11
Clorita ... ... ... ... E/5
Cobaltina ... ... ... B/8
Cobre ... ... ... ... ... B/1
Colemanita ... ... ... D/1
Colofonita ... ... ... E/8
Corindón ... ... ... C/4
Criolita ... ... ... ... C/2
Crisoberilo ... ... ... C/3
Crisotilo ... ... ... ... E/5
Cristal de roca ... E/2
Crocoíta ... ... ... ... D/6
Cuarzo ... ... ... ... E/2
Cuarzo, variedades del ... ... ... ... ... E/2
Curita ... ... ... ... ... F/1
Chabasita ... ... ... E/4
Diamante ... ... ... B/3
Diasporo ... ... ... ... C/6
Dickita ... ... ... ... E/6
Diópsida ... ... ... ... E/7
Distena ... ... ... ... E/10
Edingtonita ... ... E/4
Eleolita ... ... ... ... E/4
Enstatita ... ... ... E/7
Epidota ... ... ... ... E/9
Epsomita ... ... ... D/5
Eritrina ... ... ... ... D/7
Esfena ... ... ... ... E/11
Esmeralda ... ... ... E/8
Esparraguina ... ... D/7
Espato de Islandia. D/2
Espessartita ... ... E/9
Espinela ... ... ... ... C/3
Estaurolita ... ... ... E/10
Esteatita ... ... ... E/5
Estibina ... ... ... ... B/7
Fayalita ... ... ... ... E/9
Ferberita ... ... ... D/6
Fluorita ... ... ... ... C/2
Forsterita ... ... ... E/9
Fosforita ... ... ... ... D/7
Galena ... ... ... ... B/6
Grafito ... ... ... ... B/2
Granate ... ... ... ... E/9
Grosularia ... ... ... E/9
Grothita ... ... ... ... E/11
Gummita ... ... ... F/1
Halloysita ... ... ... E/6
Haüynita ... ... ... E/4
Heliotropo ... ... ... E/2
Henlandita ... ... ... E/4
Hidrargilita ... ... C/6
Hiperstena ... ... ... E/7
Hornblenda ... ... E/8
Hübnerita ... ... ... D/6
Idocrasa ... ... ... ... E/8
Illita ... ... ... ... ... E/6
Indigolita ... ... ... E/8
Jacinto ... ... ... ... E/11
Jargón de Ceilán ... E/11
Jaspe ... ... ... ... ... E/2
Kernita ... ... ... ... D/1
Labradorita ... ... E/3
Lapizlázuli ... ... ... E/4
Leucita ... ... ... ... E/4
Limonita ... ... ... ... C/6
Magnetita ... ... ... C/3
Malaquita ... ... ... D/3
Marcasita ... ... ... B/8
Melanita ... ... ... E/9
Melanterita ... ... ... D/5
Metatorbernita ... ... F/1
Microclina ... ... ... E/3
Millerita ... ... ... B/5
Mispíquel ... ... ... B/8
Monacita ... ... ... D/7
Montmorillonita ... E/6
Morganita ... ... ... E/8
Moroxita ... ... ... D/7
Moscovita ... ... ... E/5
Nackrita ... ... ... E/6
Natrolita ... ... ... E/4
Nefelina ... ... ... ... E/4
Nigrina ... ... ... ... C/5
Niquelina ... ... ... B/5
Nitrato sódico ... D/1
Oligisto ... ... ... ... C/4
Olivino ... ... ... ... E/9
Onice ... ... ... ... ... E/2
Opalo ... ... ... ... ... E/2
Opalo, variedades del ... ... ... ... ... E/2
Oro ... ... ... ... ... ... B/1
Oropimente ... ... B/7
Ortosa ... ... ... ... E/3
Pennina ... ... ... ... E/5
Pirargirita ... ... ... B/7
Pirita ... ... ... ... ... B/8
Piromorfita ... ... ... D/7
Piropo ... ... ... ... E/9
Pirrotina ... ... ... B/5
Pistacita ... ... ... E/9
Plata ... ... ... ... ... B/1
Proustita ... ... ... B/7
Rejalgar ... ... ... ... B/7
Rubelita ... ... ... ... E/8
Rubí oriental ... ... C/4
Rutilo ... ... ... ... C/5
Sal gema ... ... ... C/1
Sanidina ... ... ... E/3
Scheelita ... ... ... D/6
Sílex ... ... ... ... ... E/2
Sillimanita ... ... ... E/10
Silvina ... ... ... ... C/1
Sodalita ... ... ... ... E/4
Sperrylita ... ... ... B/8
Talco ... ... ... ... ... E/5
Tefroíta ... ... ... ... E/9
Tetraedrita ... ... ... B/5
Titanita ... ... ... ... E/11
Topacio ... ... ... ... E/10
Torbernita ... ... ... F/1
Torianita ... ... ... F/1
Tremolita ... ... ... E/7
Turmalina ... ... ... E/8
Turquesa ... ... ... D/7
Uraninita ... ... ... F/1
Vermiculita ... ... E/6
Vesubiana ... ... ... E/8
Vivianita ... ... ... D/7
Wiluita ... ... ... ... E/8
Witerita ... ... ... ... D/3
Wolframita ... ... ... D/6
Wulfenita ... ... ... D/6
Wurtzita ... ... ... ... B/4
Yeso ... ... ... ... ... D/5
Zafiro oriental ... C/4


BCAGDD ECBEDEBACDAD C

# INDICE DE MATERIAS


## CRISTALOGRAFÍA

A1.—¿Qué es un mineral? — Estructura interna de la materia cristalina.
A2.—Simetría cristalina. — Sistemas cristalinos. — Constantes cristalográficas. — Formas cristalinas.
A3.—Sistema cúbico o regular.
A4.—Sistema tetragonal y sistema hexagonal.
A5.—Sistema romboédrico, sistema digonal y sistema triclínico.
A6.—Agregados cristalinos.
A7.—Propiedades ópticas de los cristales. — Signo óptico.
A8.—Microscopio polarizante. — Polarización rotatoria.

## MINERALOGÍA

### Clase I. Elementos

B1.—Metales.
B2.—No metales: Azufre y Grafito.
B3.—No metales: Diamante.

### Clase II. Sulfuros

B4.—Grupos Argentita-Calcosina, Blenda-Wurtzita.
B5.—Grupos Calcopirita, y de la Niquelina.
B6.—Grupos Galena, y del Cinabrio.
—Grupos Antimonita, de las Platas
Rejalgar-Oropimente.
ita.
as
r-

### Clase V. Oxisales con el oxígeno en combinación ternaria

D1.—Subclase Boratos, y Subclase Nitratos.
D2.—Subclase Carbonatos: Serie Calcita.
D3.—Subclase Carbonatos: Serie Aragonito.

### Clase VI. Oxisales con el oxígeno en combinación cuaternaria

D4.—Subclase Sulfatos anhidros.
D5.—Subclase Sulfatos hidratados.
D6.—Subclase Cromatos, y Subclase Molibdatos y Wolframatos.

### Clase VII. Fosfatos, Arseniatos y Vanadatos

D7.—Subclase Minerales anhidros, y Subclase Minerales hidratados

### Clase VIII. Silicatos

E1.—Silicatos (Generalidades).
E2.—Subclase Tectosilicatos: Grupo del Cuarzo.
E3.—Subclase Tectosilicatos: Grupo Feldespatos: Series de los monoclínicos y de los triclínicos.
E4.—Subclase Tectosilicatos: Grupos Nefelina, Leucita, de la Sodalita (Ultramarinas) y de las Ceolitas.
E5.—Subclase Filosilicatos: Grupo de las Micas.
E6.—Subclase Filosilicatos: Minerales de la Arcilla.
E7.—Subclase Inosilicatos.
E8.—Subclase Sorosilicatos.
E9.—Subclase Nesosilicatos: Grupos del Olivino, los Granates, la Epidota y los Aluminosilicatos.
E10.—Subclase Nesosilicatos: Grupo Topacio-Estaurolita.
E11.—Subclase Nesosilicatos: Grupos del Circón, la Titanita, y los Borosilicatos.

se erales radiactivos
er ivos.